

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra částí a mechanismů strojů

Návrh upevnění buňky WC  
v hliníkové hrubé stavbě železničního  
osobního vagónu

Design of the Toilet Cell Mounting  
in the Aluminium Shell of the  
Carriage

Student: Bc. Tomáš Müller  
Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Zdeněk Foltá, Ph.D.

Ostrava 2012

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Müller**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství  
Specializace: 40 Konstrukce strojních dílů a skupin  
Téma: **Návrh upevnění buňky WC v hliníkové hrubé stavbě železničního osobního vagónu**  
**Design of the Toilet Cell Mounting in the Aluminium Shell of the Carriage**

Zásady pro vypracování:

Navrhněte umístění a upevnění buňky WC v železniční jednotce.

1. Proveďte rozbor problematiky upevnění komponentů (tolerance hrubé stavby, montáž, ...)
2. Porovnejte stávající řešení.
3. Navrhněte upevnění buňky do podlahy.
4. Navrhněte podlahu buňky z Al senviče (AluCore).
5. Navrhněte upevnění do bočnice případně do stropu.
6. Proveďte pevnostní kontrolu a porovnání navrhovaných řešení se stávajícími.

Seznam doporučené odborné literatury:

Boháček, F. *Části a mechanismy strojů I a II*. Brno: VUT Brno, 1987

Bolek, A. a kol. *Části strojů - svazek 1*. Praha: SNTL, 1990.

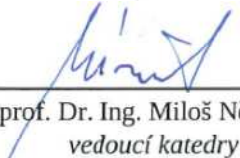
Němec, J. a kol. *Pružnost a pevnost ve strojírenství*. Praha: SNTL, 1989.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Zdeněk Foltá, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012

  
prof. Dr. Ing. Miloš Němček  
vedoucí katedry

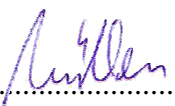


  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21.5.2012



.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было с́jednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- было с́jednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 21.5.2012



podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Tomáš Müller

Adresa trvalého pobytu autora práce: U Lesa 76, 700 30, Ostrava

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

MÜLLER, T. *Návrh upevnění buňky WC v hliníkové hrubé stavbě železničního osobního vagónu: diplomová práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2012, 56 s. Vedoucí práce: Folta, Z.

Diplomová práce rozebírá problematiku upevnění WC buňky v hrubé stavbě železničního vagónu - současné způsoby upevnění a otázky řešení tolerancí hrubé stavby. Jádrem práce je návrh a výpočet dílčích částí tohoto upevnění a také podlahy WC buňky. Základem pro návrh bylo provedení rozboru zatížení WC buňky v místech úchytů, při kterém je podrobně rozebrána náhrada silentbloků a hliníkového sendviče za výpočtové modely. Výsledkem diplomové práce je alternativní způsob uchycení WC buňky v železničním vagónu.

## **ANNOTATION OF MASTER THESIS**

MÜLLER, T. *Design of the Toilet Cell Mounting in the Aluminium Shell of the Carriage: Master Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2012, 56 p. Thesis head: Folta, Z.

The master thesis analyzes the issue of the toilet cell mounting in the shell of the carriage - the current methods of the mounting and the issue of solving tolerances of the shell. The core of the work is design and calculation of individual parts of the mounting and floor of the toilet cell. The basis for the design was to perform load analysis of the toilet cell in the mounting areas. For this analysis there was detailed substitution of the silentblocks and the aluminium sandwich for a analysis model. The result of this thesis is an alternative way of mounting of the toilet cell in the carriage.

# Obsah

	strana
Seznam použitých označení .....	8
Úvod.....	13
1. Rozbor stávajících řešení .....	15
2. Zavedení souřadného systému .....	19
3. Návrh podlahy buňky .....	20
3.1 Výpočet náhradní desky pro pevnostní výpočet podlahy.....	22
4. Volba a výpočet parametrů silentbloků.....	23
4.1 Volba silentbloku pro uchycení do podlahy .....	23
4.2 Volba silentbloku pro uchycení do bočnice .....	24
4.3 Nahrazení silentbloků materiálem s lineární charakteristikou .....	25
4.3.1 Nahrazení silentbloků uchycení do podlahy .....	25
4.3.2 Nahrazení silentbloků uchycení do bočnice.....	29
5. Pevnostní a silová analýza WC buňky .....	30
5.1 Výpočet hmotnosti WC buňky a jejího těžiště.....	30
5.2 Definice zatížení buňky .....	31
5.3 Okrajové podmínky a tvorba sítě prvků .....	32
5.4 Pevnostní kritéria a kontrola.....	35
5.5 Výpočet a kontrola deformací .....	38
5.5.1 Deformace WC buňky při mezním zatížení.....	38
5.5.2 Posuv při zatížení vlastní hmotností .....	39
5.5.3 Deformace podlahy při zatížení 150 kg .....	41
5.6 Zjištění reakčních sil v podporách.....	42

6.	Rozbor problematiky tolerancí hrubé stavby .....	43
6.1	Výpočet rozměrových obvodů uchycení buňky do podlahy .....	45
6.2	Výpočet rozměrových obvodů uchycení buňky do bočnice.....	48
7.	Výpočet šroubových spojů.....	49
7.1	Šroubový spoj v C – drážce bočnice hrubé stavby.....	49
7.2	Šroubové spojení silentbloku s podlahou hrubé stavby .....	53
8.	Závěr .....	54
9.	Seznam použité literatury.....	55
10.	Seznam příloh.....	56

## Seznam použitých označení

$a$	Zrychlení	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$
$a_y$	Zrychlení ve směru osy y	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$
$b$	Šířka	$[\text{mm}]$
$d$	Průměr	$[\text{mm}]$
$d_2$	Střední průměr závitu	$[\text{mm}]$
$d_3$	Malý průměr závitu	$[\text{mm}]$
$d_s$	Střední průměr	$[\text{mm}]$
$f_m$	Součinitel tření pod hlavou šroubu	$[-]$
$f_i$	Součinitel tření	$[-]$
$f_z$	Součinitel tření na závitu	$[-]$
$k_a$	Axiální tuhost	$[\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}]$
$k_r$	Radiální tuhost	$[\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}]$
$k_s$	Statická bezpečnost	$[-]$
$k_k$	Konstanta pro přepočet tahové/tlakové složky napětí	$[-]$
$k_t$	Součinitel bezpečnosti proti proklouznutí	$[-]$
$l$	Délka	$[\text{mm}]$
$l'$	Délka	$[\text{mm}]$
$l_0$	Počáteční délka	$[\text{mm}]$
$l_1$	Délka	$[\text{mm}]$
$l_2$	Délka	$[\text{mm}]$
$l_3$	Délka	$[\text{mm}]$



$l_4$	Délka	[mm]
$m'$	Měrná hmotnost	[kg·m <sup>-2</sup> ]
$p$	Tlak	[MPa]
$p_d$	Dovolený měrný tlak	[MPa]
$r$	Délka ramena	[mm]
$s_{dov}$	Dovolený posuv	[mm]
$s_{dovy}$	Dovolený posuv ve směru osy y	[mm]
$s_{max}$	Maximální posuv	[mm]
$s_{maxy}$	Maximální posuv ve směru osy y	[mm]
$s_{maxz}$	Maximální posuv ve směru osy z	[mm]
$s_x$	Posuv ve směru osy x	[mm]
$s_y$	Posuv ve směru osy y	[mm]
$s_y'$	Deformace podlahy WC buňky při zatížení vlastní hmotností ve směru osy y	[mm]
$s_y''$	Deformace podlahy WC buňky po stoupnutí lidskou nohou ve směru osy y	[mm]
$t$	Tloušťka	[mm]
$t^*$	Tloušťka náhradní výpočtové desky	[mm]
$t_l$	Tloušťka krycího plechu sendviče	[mm]
$z$	Jmenovitý rozměr závěrného členu	[mm]
$C$	Konstanta pro výpočet zrychlení ve směru osy y	[-]
$E$	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
$F_a$	Axiální síla	[N]

$F_d$	Tlaková síla	[N]
$F_o$	Předpětí ve šroubu	[N]
$F_{o,max}$	Maximální předpětí ve šroubu	[N]
$F_p''$	Provozní osová síla	[N]
$F_{p,dov}''$	Dovolená provozní osová síla	[N]
$F_r$	Radiální síla	[N]
$F_t$	Tahová síla	[N]
$F_x$	Síla ve směru osy x	[N]
$F_y$	Síla ve směru osy y	[N]
$F_z$	Síla ve směru osy z	[N]
$G$	Modul pružnosti ve smyku	[MPa]
$I$	Moment setrvačnosti plochy průřezu	[mm <sup>4</sup> ]
$I^*$	Moment setrvačnosti plochy průřezu náhradní výpočtové desky	[mm <sup>4</sup> ]
$I'$	Měrný moment setrvačnosti plochy průřezu	[mm <sup>4</sup> ·m <sup>-1</sup> ]
$M_{tz}$	Třecí moment na závitu	[N·m]
$M_{tz,max}$	Maximální třecí moment na závitu	[N·m]
$M_u$	Utahovací moment	[N·m]
$M_{u,dov}$	Dovolený utahovací moment	[N·m]
$M_{u,max}$	Maximální utahovací moment	[N·m]
$P$	Rozteč	[mm]
$P_h$	Stoupání závitu	[mm]
$R_{Ax}$	Reakce v podpoře A ve směru osy x, nosníku A	[N]

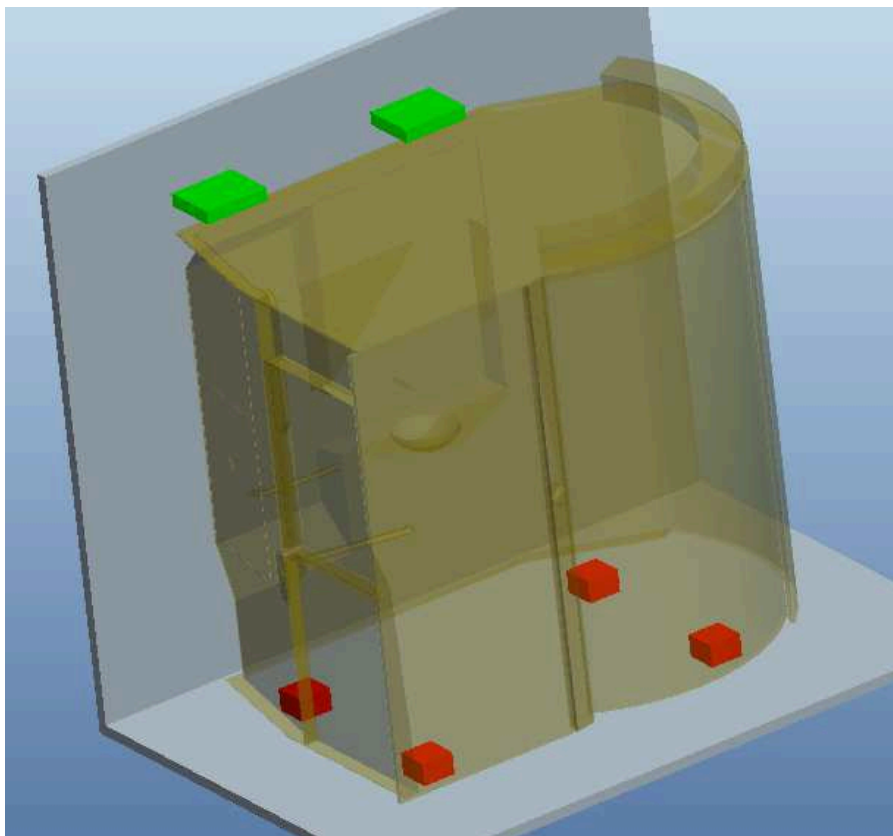
$R_{Ay1}$	Reakce v podpoře A ve směru osy y, nosníku B	[N]
$R_{Az}$	Reakce v podpoře A ve směru osy z, nosníku A	[N]
$R_{Az}$	Reakce v podpoře A ve směru osy z, nosníku A	[N]
$R_{Bz1}$	Reakce v podpoře B ve směru osy z, nosníku B	[N]
$R_{Bz1}$	Reakce v podpoře B ve směru osy z, nosníku B	[N]
$Re$	Mez kluzu	[MPa]
$Re_{0,2}$	Smluvní mez kluzu	[MPa]
$Rm$	Mez pevnosti	[MPa]
$S$	Plocha	[mm <sup>2</sup> ]
$T_x$	Souřadnice osy x těžiště	[mm]
$T_y$	Výpočtová souřadnice osy y těžiště	[mm]
$T_y'$	Reálná souřadnice osy y těžiště	[mm]
$T_z$	Souřadnice osy z těžiště	[mm]
$W_k$	Modul odporu průřezu v krutu	[mm <sup>3</sup> ]
$W_o$	Modul odporu průřezu v ohybu	[mm <sup>3</sup> ]
$W_o^*$	Modul odporu průřezu v ohybu náhradní výpočtové desky	[mm <sup>3</sup> ]
$W_o'$	Měrný modul odporu průřezu v ohybu	[mm <sup>3</sup> ·m <sup>-1</sup> ]
$Z$	Šířka vagónu	[mm]
$\gamma$	Zkos	[-]
$\Delta l$	Změna délky $l$	[mm]
$\Delta l_1$	Úchylka délky $l_1$	[mm]
$\Delta l_2$	Úchylka délky $l_2$	[mm]

$\Delta l_3$	Úchylka délky $l_3$	[mm]
$\Delta l_4$	Úchylka délky $l_4$	[mm]
$\Delta x$	Posuv silentbloku ve směru osy x	[mm]
$\Delta z$	Celková úchylka závěrného členu	[mm]
$\Delta z_x$	Úchylka závěrného členu ve směru osy x	[mm]
$\Delta z_z$	Úchylka závěrného členu ve směru osy z	[mm]
$\varepsilon$	Poměrné prodloužení	[-]
$\rho^*$	Hustota náhradní výpočtové desky	[kg·m <sup>-3</sup> ]
$\sigma_{o,max}$	Maximální ohybové napětí	[MPa]
$\sigma_{red,max}^*$	Maximální redukované napětí náhradní výpočtové desky	[MPa]
$\sigma_t$	Napětí v tahu	[MPa]
$\sigma_t^*$	Napětí v tahu náhradní výpočtové desky	[MPa]
$\sigma_{t,max}$	Maximální tahové napětí	[MPa]
$\sigma_{t,max}^*$	Maximální tahové napětí náhradní výpočtové desky	[MPa]
$\sigma_{tx,max}^*$	Maximální tahové napětí náhradní výpočtové desky ve směru osy x	[MPa]
$\sigma_{tz,max}^*$	Maximální tahové napětí náhradní výpočtové desky ve směru osy z	[MPa]
$\tau$	Smykové napětí	[MPa]
$\nu$	Poissonovo číslo	[-]
$\varphi'$	Redukovaný třecí úhel	[°]
$\psi$	Úhel stoupání závitu	[°]
$\phi$	Úhel	[°]

## Úvod

Železniční osobní doprava se neustále jako spousta dalších odvětví vyvíjí, proto je nutno zaběhnutá konstrukční řešení zdokonalovat, popř. se snažit hledat jiná, lepší řešení. Tento proces inovací se týká rovněž instalací WC buněk v osobních železničních vagónech. Díky zájmu firmy Siemens, s.r.o. bude v této práci řešeno uchycení WC buňky pro osoby s tělesným postižením v železničním vagónu. Řešený vagón je hliníkové konstrukce svařované z protlačovaných profilů. Tato technologie výroby do značné míry určuje možnosti upevnění jednotlivých komponentů ve vagónu.

Principiálně jde o návrh alternativního způsobu uchycení WC buňky. Na Obr. 0.1 je schematicky znázorněno řešené uchycení. Jedná se o upevnění WC buňky do podlahy hrubé stavby vagónu (červená barva) a o upevnění WC buňky do bočnice hrubé stavby vagónu (zelená barva).



Obr. 0.1 Schéma upevnění WC buňky do hrubé stavby vagónu

Pro buňku je rovněž třeba navrhnout podlahu z nového materiálu, tím je hliníkový sendvič AluCore. Ve stávajícím provedení je podlaha konstruována z hliníkového sendviče Metawell. Tento návrh sleduje záměr najít pro podlahu WC buňky co nejefektivněji využitý materiál.

**Cíle diplomové práce jsou:**

- porovnat stávající řešení a nalézt řešení vhodnější,
- navrhnout vhodný systém uchycení WC buňky ve stávající konstrukci železničního vagónu,
- aplikovat materiál AluCore na stávající řešení podlahy WC buňky,
- provést analýzu zatížení buňky v místech úchytů,
- provést pevnostní kontrolu uchycení a podlahy WC buňky,
- navrhnout vhodné tolerance uložení pro bezproblémovou montáž.

**Při návrhu konstrukce je třeba zohlednit:**

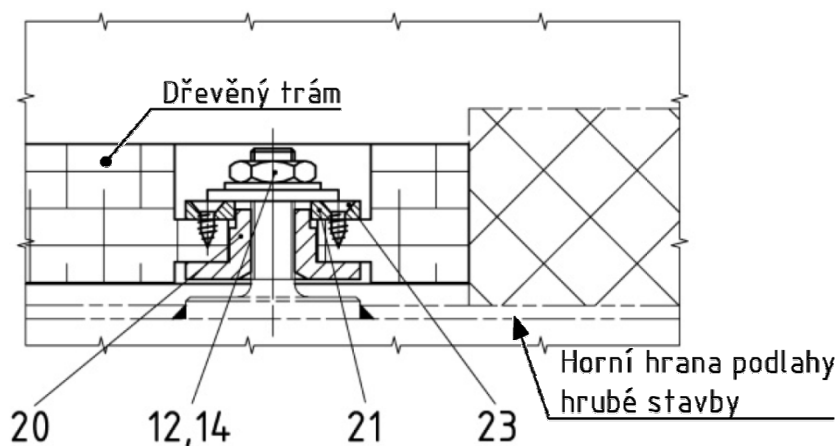
- snadnou montáž,
- dodržení předepsaných tuhostí a posunů,
- řešení montáže buňky s ohledem na výrobní tolerance hrubé stavby vagónu.

## 1. Rozbor stávajících řešení

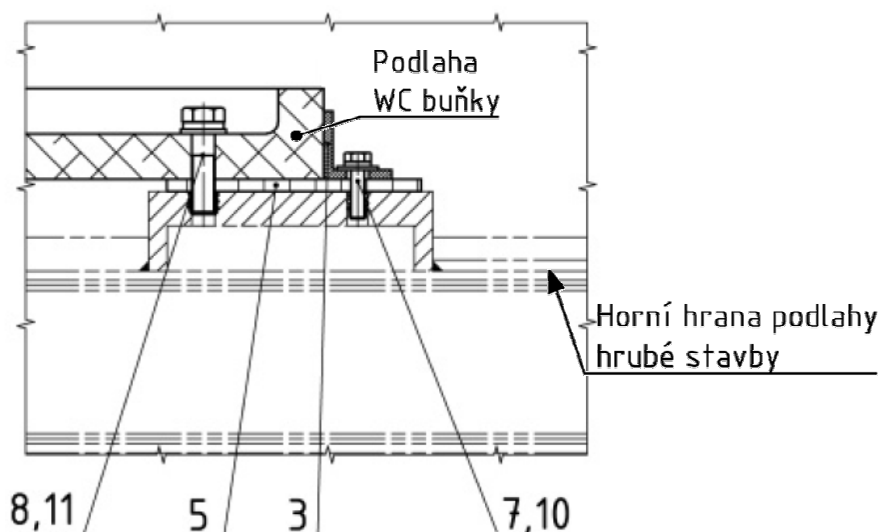
První veřejná železnice pro nákladní i osobní dopravu byla otevřena roku 1825, je tedy zřejmé, že osobní železniční vagóny mají za sebou dlouhý vývoj. Tento dlouhodobý vývoj se týká i sanitárních systémů a současně i upevnění WC buněk v osobních vozech železniční dopravy. V této diplomové práci bude představeno několik základních způsobů upevnění používaných firmou Siemens, s.r.o. (14).

### Nesamonosná podlaha (ICE 3)

V tomto konstrukčním řešení leží podlaha WC buňky na několika dřevěných trámech, které jsou upevněny k podlaze hrubé stavby vagónu vždy v několika místech (viz Obr. 1.1). V těchto místech je zajištěna výšková korekce. Po obvodu je pak podlaha buňky připevněna k podlaze hrubé stavby přes přivařený U – profil (viz Obr. 1.2).

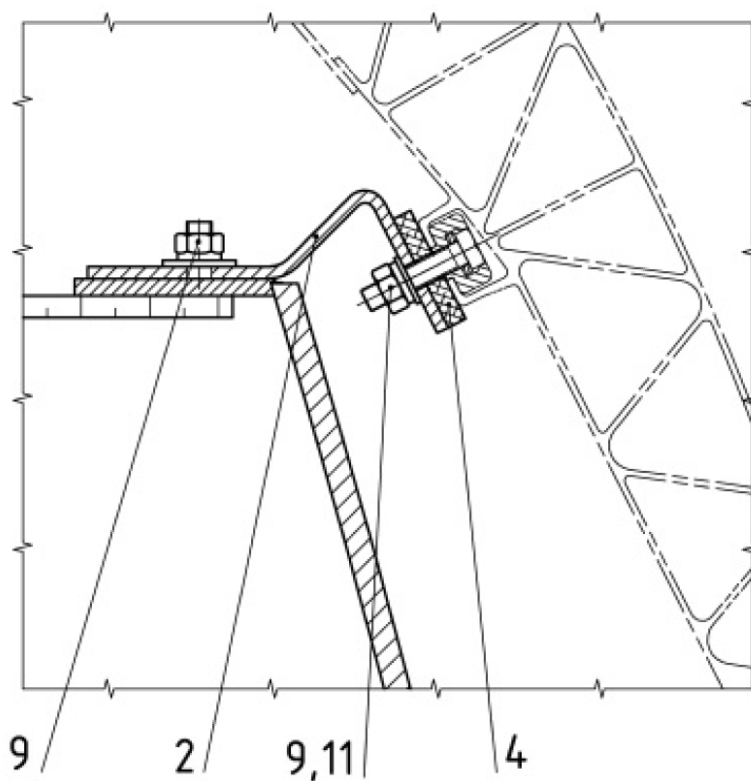


Obr. 1.1 Upevnění podložních trámů do podlahy hrubé stavby



Obr. 1.2 Upevnění podlahy WC buňky do podlahy hrubé stavby

Upevnění stropu WC buňky do bočnice hrubé stavby vagónu je znázorněno na Obr. 1.3. Na pozici 4 je zde pryžový prvek, vyrovnávající úhlové nepřesnosti. Tento způsob vyrovnání úhlových nepřesností s sebou ovšem přináší i přidavný ohybový moment vnesený do šroubu. Tento šroub je dále vložen do kamene v C – drážce, která je součástí hrubé stavby vagónu.

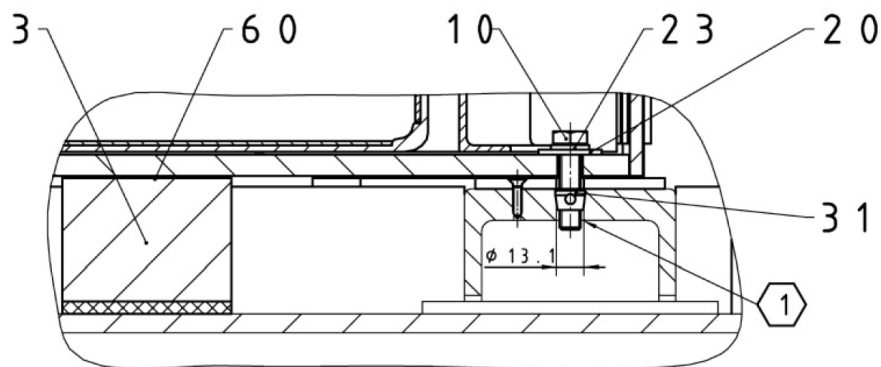


Obr. 1.3 Upevnění WC buňky do bočnice hrubé stavby



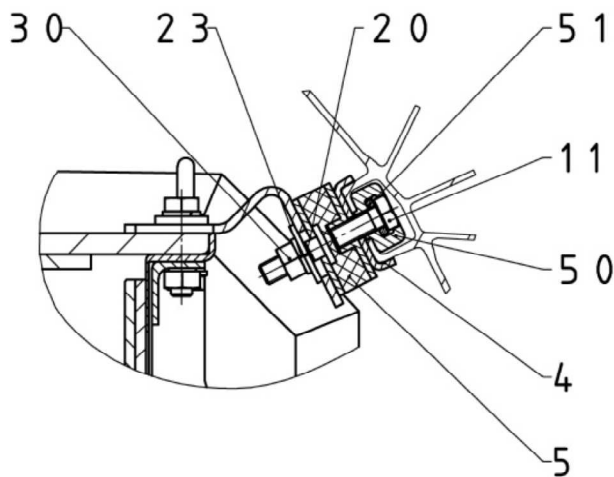
### Nesamonosná podlaha (Velaro RUS)

V této verzi leží podlaha WC buňky opět na dřevěných trámech (Obr. 1.4, pozice 3), ovšem tyto trámy nejsou výškově stavitelné jako v předchozím případě, ale leží na podlaze hrubé stavby (mezi trámem a podlahou hrubé stavby je vrstva izolace). Trámy jsou pak při montáži vyrovnány do požadované výšky podložkami (pozice 60), což je pracné a zdoluhavé. Po obvodu je pak podlaha WC buňky opět připevněna k podlaze hrubé stavby přes přivařený U – profil (viz šroubový spoj na Obr. 1.4).



Obr. 1.4 Uchycení WC buňky do podlahy hrubé stavby

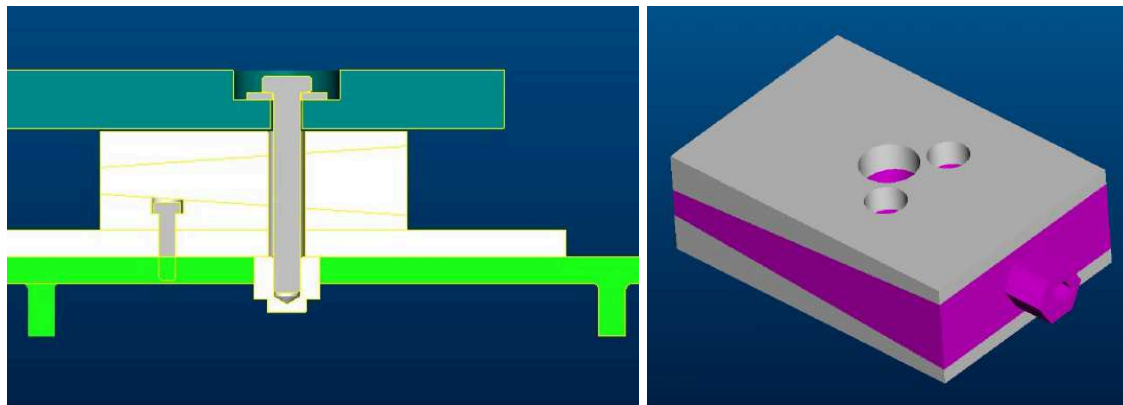
Uchycení do bočnice hrubé stavby je provedeno podobně jako v předchozím případě, hlavní změnou je použití silentbloků běžného typu pro vyrovnání úhlových tolerancí, což eliminuje vnesení přídavného ohybu do šroubů.



Obr. 1.5 Uchycení WC buňky do bočnice hrubé stavby

### Samonosná podlaha (Velaro Platform/D)

Při použití samonosné konstrukce podlahy WC buňky je potřeba podlahu buňky uchytit jen v několika bodech (další podepření není nutné). Odpadá tím vyrovnávání výškových nerovností na celé podstavě buňky. Je ovšem třeba použít člen uchycení, který bude schopný vyrovnávat jak výškovou, tak i úhlovou nerovnost podlahy hrubé stavby.



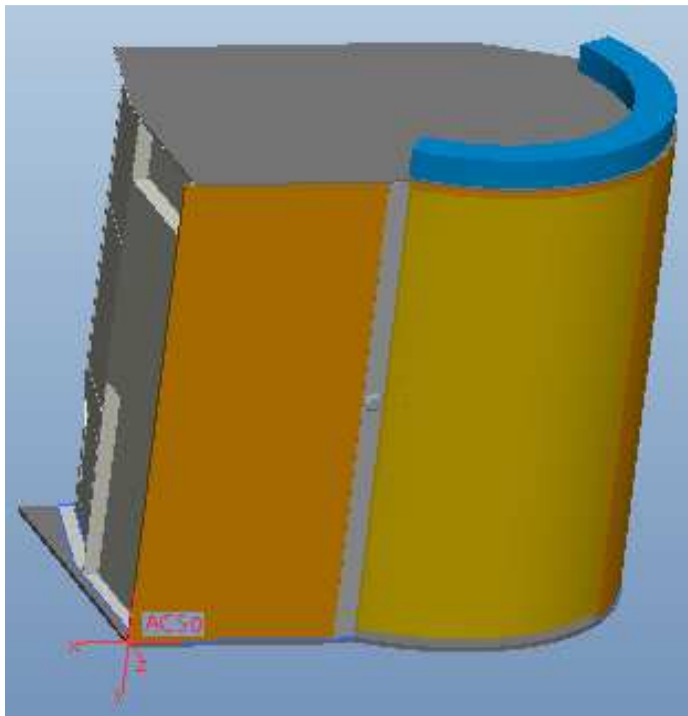
Obr. 1.6 Návrh vyrovnávacího elementu pro uchycení do podlahy

Při zavádění této konstrukce podlahy bylo navrženo několik druhů vyrovnávacích elementů. Např. návrh z Obr. 1.6 neumožňoval vyrovnání úhlových nepřesností, byl pouze výškově stavitelný. Jako použitelný způsob se ukázalo použití vyrovnávacího členu s kulovou vazbou a vyrovnání výškových nerovností podložkami nebo stavitelným šroubem s maticí. Toto řešení ovšem není možné z důvodu ochrany autorských práv zveřejnit. Tento způsob upevnění je nejaktuálnější, proto bude nový návrh porovnáván s tímto řešením, tzn.:

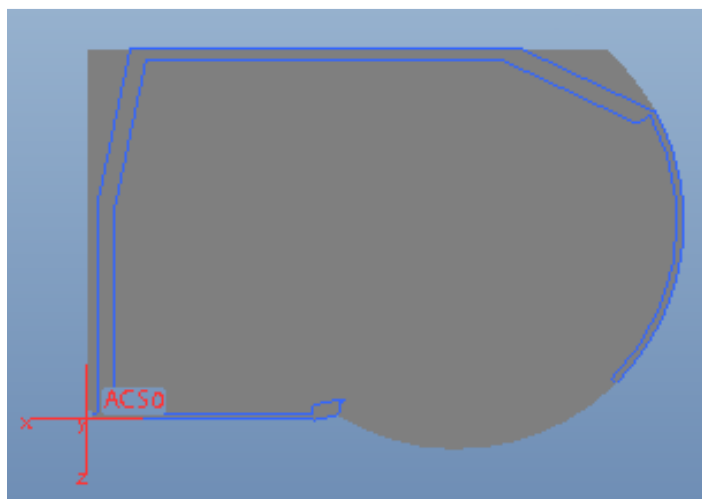
- uchycení do podlahy hrubé stavby - samonosná podlaha, pevné uchycení v několika bodech s mechanickým naklápěním,
- uchycení do bočnice hrubé stavby - použití 2 silentbloků běžného typu (viz Obr. 1.5),
- samonosná podlaha WC buňky z hliníkového sendviče Metawell (viz dále).

## 2. Zavedení souřadného systému

Souřadný systém používaný v diplomové práci je převzat z modelu WC buňky a jeho orientace zůstává nezměněna ve všech výpočtech. Počátek souřadného systému je umístěn na horní straně podlahy WC buňky.



Obr. 2.1 Model WC buňky se zavedeným souřadným systémem



Obr. 2.2 Pohled na podlahu WC buňky se zavedeným souřadným systémem

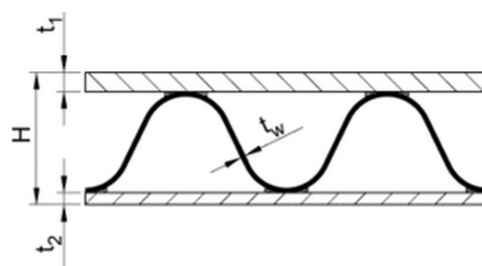
Na Obr. 2.1 a Obr. 2.2 je vidět zavedený souřadný systém (označení osy je vždy na její kladné poloose). Modrou barvou je na Obr. 2.2 vyznačený obrys nosných stěn buňky.

### 3. Návrh podlahy buňky

Návrh podlahy buňky sestává z aplikace nového hliníkového sendviče AluCore na původní řešení podlahy WC buňky. Ke konstrukčním úpravám podlahy buňky by se přistoupilo pouze v případě, kdyby byly tyto úpravy nezbytné. Původní i nová podlaha jsou samonosné.

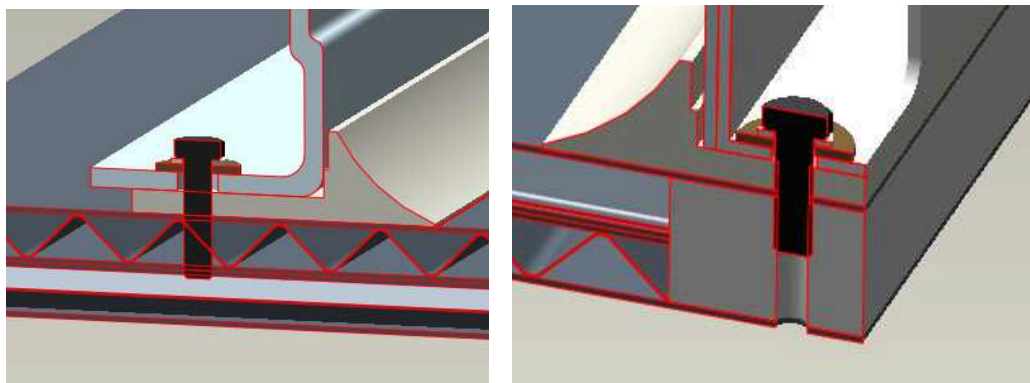
#### Původní řešení podlahy WC buňky

Původní podlaha byla navržena ze 2 na sobě položených hliníkových sendvičů Metawell, proti sobě navzájem pootočených o 90° o celkové tloušťce 26 mm. Uprostřed podlahy tedy byly 2 plechy, které se téměř nepodílely na ohybové tuhosti. Hmotnost původní podlahy z hliníkového sendviče Metawell je 40 kg.



Obr. 3.1 Hliníkový sendvič Metawell, převzato z (12)

Způsoby šroubových spojení mezi podlahou a stěnami buňky jsou ukázány na Obr. 3.2, vlevo je upevnění podlahy do stěny se širokým lemem, vpravo je upevnění do stěny s úzkým lemem a masivní hliníkovou vložkou v podlaze (vsazenou a vlepenou na místo výplně sendviče mezi krajní krycí plechy podlahy, viz také Obr. 3.3).



Obr. 3.2 Spojení podlahy se stěnami WC buňky, převzato z (14)

Vyztužení podlahy masivní hliníkovou vložkou (na Obr. 3.3 značeno světle šedou barvou) je provedeno po obvodu buňky a to po jejich delších stranách. Toto přináší zvýšení dovolených měrných tlaků ve vyztužené oblasti a zvýšení tuhosti buňky.



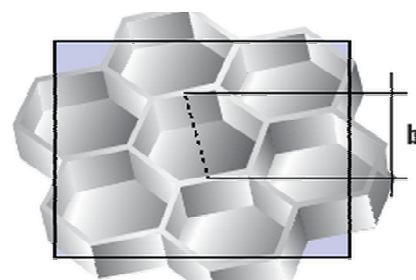
Obr. 3.3 Náčrt vyztužení podlahy masivní vložkou (značeno světle šedou barvou)

### Nové řešení podlahy WC buňky

Pro podlahu použit hliníkový sendvič AluCore o tloušťce  $t = 25$  mm. Celková hmotnost podlahy je 33 kg. Dochází tedy ke snížení hmotnosti oproti původnímu řešení o 17 %.

Tab. 3.1 - Parametry hliníkového sendviče AluCore (9)

Parametr	Hodnota	Jednotka
Celková tloušťka $t$	25	mm
Tloušťka krycího plechu $t_l$	1	mm
Měrná hmotnost $m'$	7,3	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$
Měrný modul odporu průřezu v ohybu $W_o'$	23 050	$\text{mm}^3 \cdot \text{m}^{-1}$
Tuhost $E \cdot I'$	$221,6 \cdot 10^8$	$\text{N} \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$
Modul pružnosti hliníku $E$	$0,7 \cdot 10^5$	MPa
Mez pevnosti $R_m$ krycího plechu	185	MPa
Mez kluzu $Re_{0,2}$ krycího plechu	160	MPa
Dovolený měrný tlak $p_d$ ve směru tloušťky $t$	2,6	MPa



3.4 Výplň sendviče AluCore, převzato z (9)

### 3.1 Výpočet náhradní desky pro pevnostní výpočet podlahy

Pevnostní výpočet hliníkového sendviče pomocí MKP by byl velice komplikovaný a pravděpodobně i prakticky nepoužitelný. Lepší cestou výpočtu je náhrada tohoto sendviče za náhradní homogenní výpočtovou desku stejných vlastností.

Při stanovení náhradní výpočtové desky je nutno dodržet důležité mechanické vlastnosti sendviče, ostatní parametry budou dopočítány. Při namáhání podlahy WC buňky má dominantní vliv namáhání v ohybu, proto budou u náhradní výpočtové desky zachovány parametry sendviče v ohybu. Pro ostatní druhy namáhání bude nutné zavést korekce (viz dále). Výpočet proveden pro plochu sendviče 1 m<sup>2</sup> (délka strany sendviče  $b = 1000$  mm). Z obecného vztahu pro výpočet modulu odporu průřezu v ohybu

$$W_o = W_o^* = W_o' \cdot b = \frac{b \cdot t^{*2}}{6} \quad (3.1)$$

se stanoví náhradní tloušťka výpočtové desky  $t^*$ :

$$t^* = \sqrt{6 \cdot W_o'} = \sqrt{6 \cdot 23050 \cdot 10^{-3}} = 11,76 \text{ mm} \quad (3.2)$$

Předchozímu výsledku odpovídá moment setrvačnosti průřezu náhradní desky:

$$I^* = \frac{b \cdot t^{*3}}{12} = \frac{1000 \cdot 11,76^3}{12} = 135531,6 \text{ mm}^4 \quad (3.3)$$

Pro zachování tuhosti musí platit (tuhost je dána výrobcem jako  $E \cdot I'$ , viz Tab. 3.1):

$$E \cdot I = E \cdot I' \cdot b = E^* \quad (3.4)$$

A proto modul pružnosti náhradní výpočtové desky v tahu je:

$$E^* = \frac{E \cdot I' \cdot b}{I^*} = \frac{221,6 \cdot 10^8 \cdot 10^{-3} \cdot 1000}{135531,6} = 16,4 \cdot 10^4 \text{ MPa} \quad (3.5)$$

Výpočet hustoty náhradní výpočtové desky:

$$\rho^* = \frac{m}{V^*} = \frac{m' \cdot b^2}{b^2 \cdot t} = \frac{m'}{t} = \frac{7,3}{11,76 \cdot 10^{-3}} = 620,1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad (3.6)$$

Vypočtené parametry náhradní výpočtové desky budou dále použity v pevnostní a deformační analýze v kap. 5.

#### 4. Volba a výpočet parametrů silentbloků

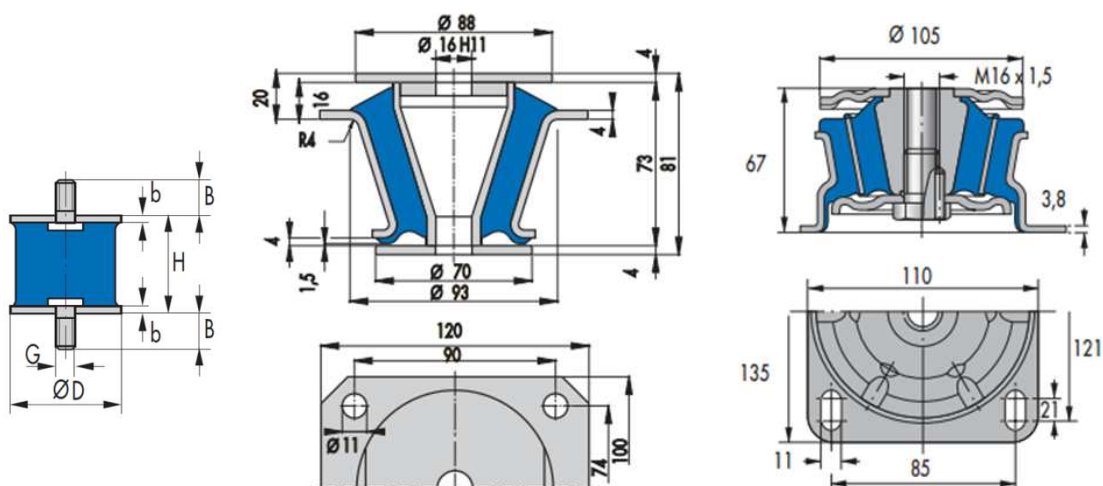
Pro uchycení WC buňky do podlahy i do bočnice hrubé stavby vagónu bylo zvoleno uchycení pomocí silentbloků. Toto řešení má výhodu nejen v tom, že samotný silentblok vyrovnává při montáži jak úhlové (rovinné) nepřesnosti, tak i drobné výškové nepřesnosti či přesazení, ale navíc se tímto řešením docílí i částečného tlumení přenosu rázů z hrubé stavby vagónu do WC buňky.

Přenos největších sil se odehrává ve směru osy x (směr jízdy, viz kap. 5.2). Proto je nutná velká tuhost silentbloků zejména v tomto směru. Rovněž je třeba volit tužší silentbloky v uchycení do podlahy hrubé stavby než v uchycení do bočnice. Jinak by z důvodu rozdílného počtu těchto uchycení přenášelo uchycení do bočnice enormní síly.

##### 4.1 Volba silentbloku pro uchycení do podlahy

Toto upevnění je nutné konstruovat tak, aby žádná jeho část nepřechýla přes horní rovinu podlahy WC buňky.

Běžný silentblok, typ A, je jednoduchého provedení a bývá i velkých únosností, má ovšem velmi malou tuhost v radiálním směru. Silentblok typu B již má vyšší tuhost v radiálním směru než v axiálním, má ale nevhodný systém upevnění. Jako vhodný se ukázal být typ C se závitem M16x1,5 pro upevnění šroubem shora. Zvolen silentblok typu C, Simrit 5718 220 80 NR11. Jeho parametry jsou uvedeny v *Tab. 4.1*.



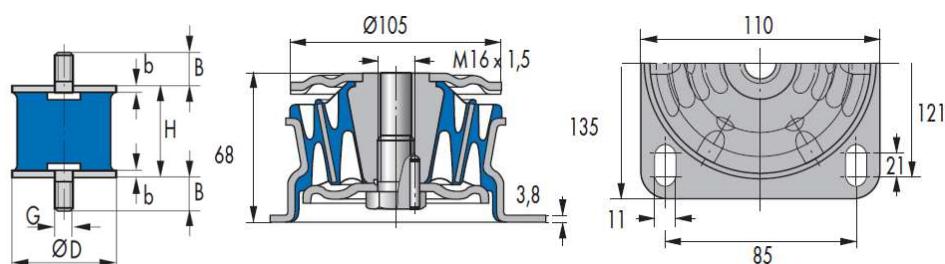
Obr. 4.1 Výběr typu silentbloku (zleva typ A, B, C), převzato z (8)

Tab. 4.1 - Parametry silentbloku Simrit 5718 220, převzato z (8)

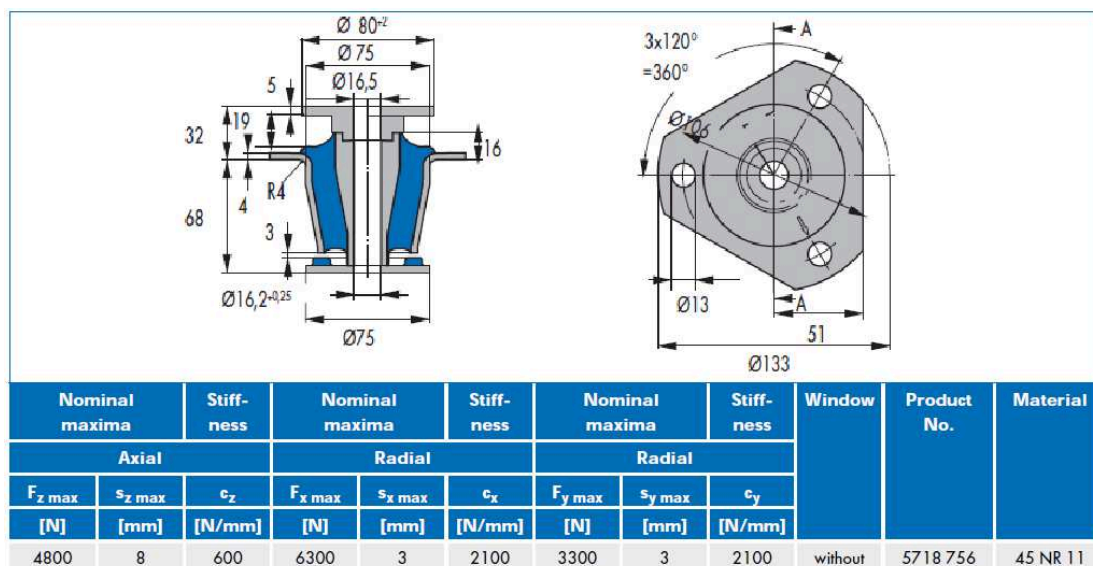
Nominal maxima		Stiffness	Nominal maxima		Stiffness	Nominal maxima		Stiffness	Window	Product No.	Material
Axial			Radial			Radial					
F <sub>z</sub> max	s <sub>z</sub> max	c <sub>z</sub>	F <sub>x</sub> max	s <sub>x</sub> max	c <sub>x</sub>	F <sub>y</sub> max	s <sub>y</sub> max	c <sub>y</sub>			
[N]	[mm]	[N/mm]	[N]	[mm]	[N/mm]	[N]	[mm]	[N/mm]			
6300	2,7	1500	7800	2	3900	7800	2	3900	without	5718 220	80 NR 11

## 4.2 Volba silentbloku pro uchycení do bočnice

V tomto uchycení běžně používaný typ A má velmi malou radiální tuhost, naopak velkou axiální tuhost, což není příliš výhodné. Typ B má tento poměr tuhostí již výhodný, navíc má rozdílnou radiální tuhost ve směrech x a z, není ovšem vhodný kvůli způsobu montáže. Podmínkám montáže i způsobu zatížení vyhovuje typ C, silentblok Simrit 5718 756 45 NR11. Tento silentblok bude použit bez dorazů zobrazených na Obr. 4.3 (ty by sloužily k zachycení přetížení v axiálním směru silentbloku).



Obr. 4.2 Výběr typu silentbloku (vlevo typ A, vpravo typ B), převzato z (8)



Obr. 4.3 Silentblok Simrit 5718 756, typ C, převzato z (8)

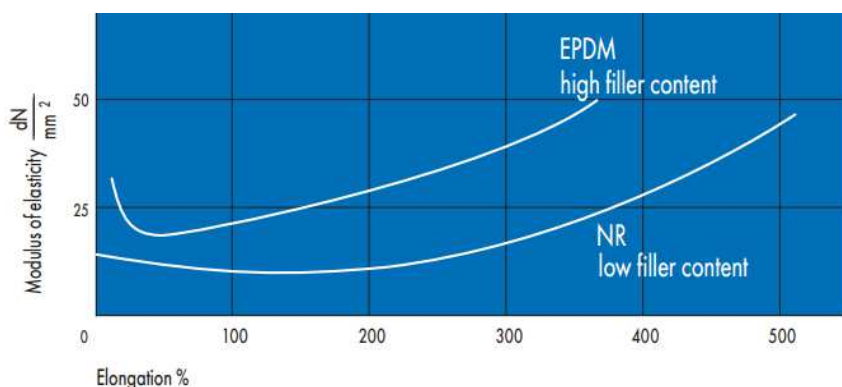


### 4.3 Nahrazení silentbloků materiálem s lineární charakteristikou

Při analýze zatížení a pevnostní analýze buňky pomocí MKP je nutné nahradit silentbloky vhodným výpočtovým modelem.

#### Vlastnosti pryže použitých silentbloků

Dle (8) je závislost modulu pružnosti v tahu  $E$  na poměrném prodloužení  $\varepsilon$  u pryže nelineární, jedná se totiž o hyperelastický materiál s proměnnými materiálovými parametry. Výpočty s respektováním této nelineární závislosti jsou obtížné a časově náročné, proto je vhodné přistoupit k jejímu nahrazení za závislost lineární. Při použití materiálu typu NR (viz Obr. 4.4) budou pro mnou uvažované výpočty výsledky s konstantním  $E$  dostatečně přesné.



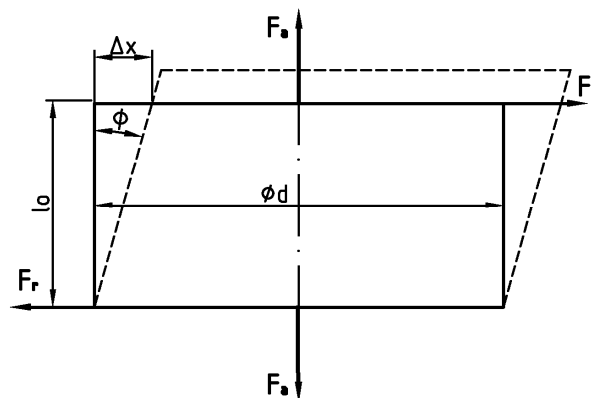
Obr. 4.4 Závislost modulu pružnosti pryže na poměrném prodloužení, převzato z (8)

Závislost poměrného prodloužení pryže na zatížení zde není podstatná, protože důležitá je tuhost silentbloku jako celku a ta je uvedena přímo u jednotlivých typů silentbloků (viz dříve zmíněné tuhosti  $k_a$  a  $k_r$ ).

#### 4.3.1 Nahrazení silentbloků uchycení do podlahy

Tyto silentbloky budou ve výpočtu nahrazeny válci s vhodnými parametry. Průměr válce zvolen podle průměru stykové plochy silentbloku s podlahou WC buňky jako  $\phi d = 80$  mm. Jeho délka stanovena na  $l = 40$  mm. Při stanovování dalších parametrů náhradního válce (vlastností jeho materiálu) je třeba vyjít z tuhostí silentbloku  $k_a = 1500 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$  a  $k_r = 3900 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$  (viz Tab. 4.1) a tím zachovat závislost axiální/radiální zatěžovací síly na posuvu silentbloku.

Výchozím bodem při zjišťování materiálových vlastností byly teoretické výpočty, které byly dále upřesněny pomocí MKP. Ve zjednodušeném výpočtovém modelu silentbloku se dá tlaková/tahová tuhost silentbloku popsat modulem pružnosti v tahu.



Obr. 4.5 Zatížení silentbloku na tah a smyk

Výpočet modulu pružnosti v tahu materiálu náhradního silentbloku z dané tuhosti  $k_a$ :

$$E = \frac{\sigma_t}{\varepsilon} = \frac{F_a \cdot l_0}{S \cdot \Delta l} = k_a \cdot \frac{4l_0}{\pi \cdot d^2} = 1500 \cdot \frac{4 \cdot 40}{\pi \cdot 80^2} = 11,9 \text{ MPa} \quad (4.1)$$

Tuhost v radiálním směru (tuhost při smykovém namáhání) pak teoreticky odpovídá modulu pružnosti ve smyku. Do prostého namáhání smykem se zde ale vnáší ohyb, proto je třeba provést následné upřesnění modulu pružnosti ve smyku  $G$ . Teoretická hodnota  $G$  z přibližného vzorce dle (2):

$$G = \frac{\tau}{\gamma} = \frac{F_r}{S \cdot \tan \phi} = \frac{F_r \cdot l_0}{S \cdot \Delta x} = k_r \cdot \frac{4 \cdot l_0}{\pi \cdot d^2} = 3900 \cdot \frac{4 \cdot 40}{\pi \cdot 80^2} = 31,0 \text{ MPa} \quad (4.2)$$

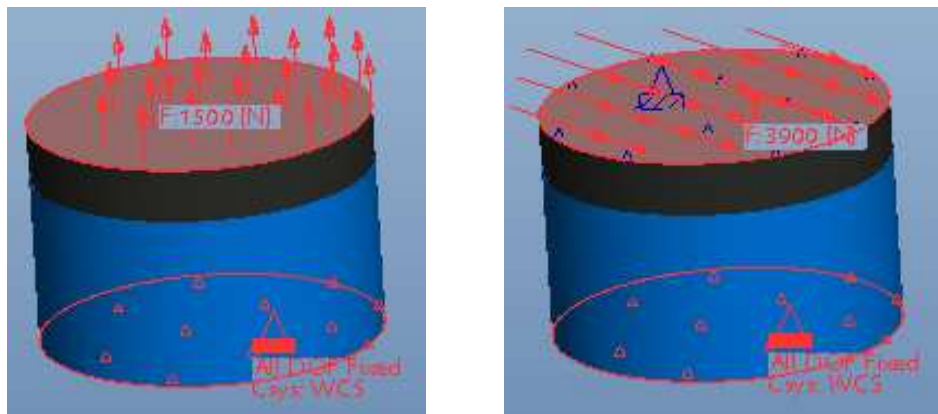
Výpočet poissonova čísla ze vztahu mezi moduly pružnosti dle (2) pro isotropní, lineární materiály:

$$\nu = \frac{E}{2G} - 1 = \frac{11,9}{2 \cdot 31} - 1 = -0,81 \quad (4.3)$$

Záporná hodnota poissonova čísla odpovídá velice nestandardním materiálům, ale není nereálná. Takové vlastnosti mají např. auxetické materiály. Je nutno si opět uvědomit, že uvedené hodnoty jsou parametry náhradního výpočtového modelu silentbloku.

### Výpočet parametrů náhradního silentbloku pomocí MKP

Pro výpočtové simulace byl použit výpočtový program PRO/ENGINEER (13). Simulace sestávají ze 2 výpočtů – namáhání náhradního silentbloku v tahu a namáhání ve smyku.



Obr. 4.6 Okrajové podmínky (vlevo namáhání na tah, vpravo na smyk)

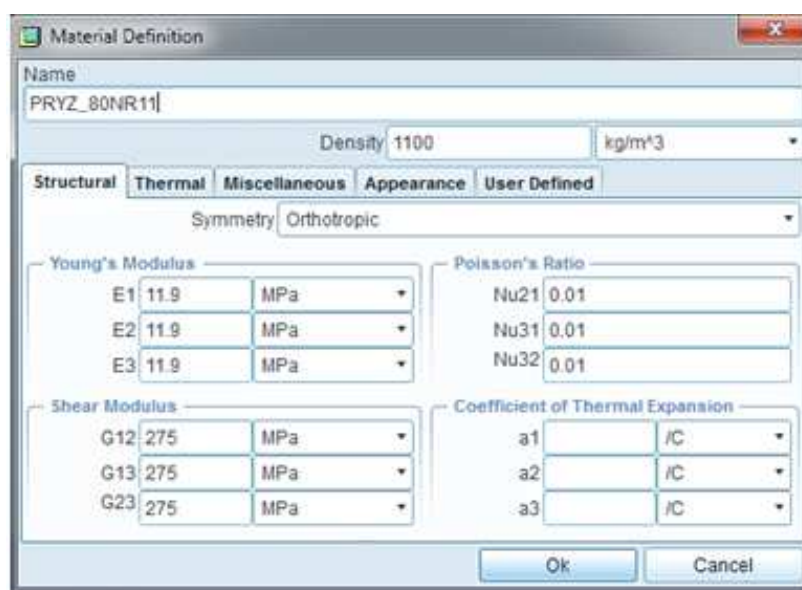
Na náhradním silentbloku (modrá barva) je nasazena ocelová deska (černá barva, v teoretickém výpočtu se s ní neuvažuje), která působí jako vyztužení a zrovnoměnění deformace v povrchové vrstvě. Spodní plocha silentbloku je vetknuta. Pohyb horní plochy ocelové desky je dále u namáhání na smyk omezen rovinnou vazbou (zamezující vzniku momentové dvojice sil). Výpočtové modely jsou v obou případech zatíženy tak, aby při zadání vhodných materiálových vlastností došlo k posuvu 1 mm (zatěžující síly jsou odvozeny z tuhostí  $k_a$  a  $k_r$ ).

Při zadání vypočítaných, teoretických vlastností materiálu ( $E = 11,9$  MPa,  $\nu = -0,81$ , isotropní materiál) do PRO/ENGINEER neodpovídaly deformace náhradního deformacím teoretickým. Bylo tedy třeba najít materiál jiných vlastností, který bude ve výpočtovém prostředí věrně simulovat chování silentbloku. Tento materiál již bylo třeba definovat jako ortotropní - pro možnost přímého definování modulu pružnosti ve smyku – a jeho vhodné vlastnosti zjistit pokusem.

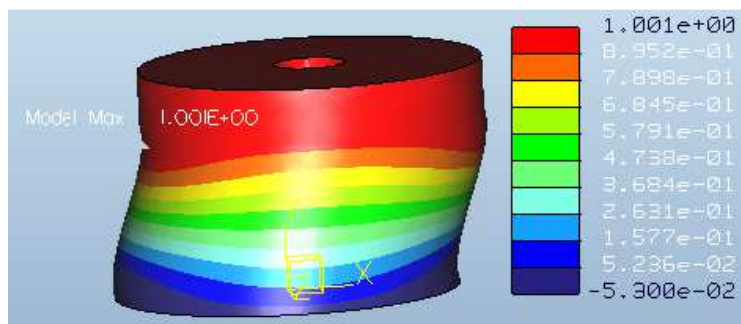
Prvním krokem při zjišťování materiálových vlastností bylo zadání poissonova čísla  $\nu = 0,01$ , čímž se docílilo nezávislosti axiální deformace definované modulem pružnosti v tahu  $E$  na radiální deformaci definované modulem pružnosti ve smyku  $G$ . Poté bylo třeba upřesnit modul pružnosti ve smyku  $G$ . Celý postup shrnuje Tab. 4.2. Výsledné hodnoty (použité dále v kap. 5) ukazují poslední řádek v Tab. 4.2.

Tab. 4.2 - Experimentální zjištění materiálových konstant

Modul $E$ [MPa]	Poissonovo č. $\nu$ [-]	Modul $G$ [MPa]	Posuv $s_y$ [mm]	Posuv $s_x$ [mm]
11,9	-0,81	31,0	0,38	1,49
11,9	0,01	31,0	1,00	2,21
11,9	0,01	110,0	1,00	1,20
11,9	0,01	200,0	1,00	1,05
11,9	0,01	260,0	1,00	1,01
<b>11,9</b>	<b>0,01</b>	<b>275,0</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>



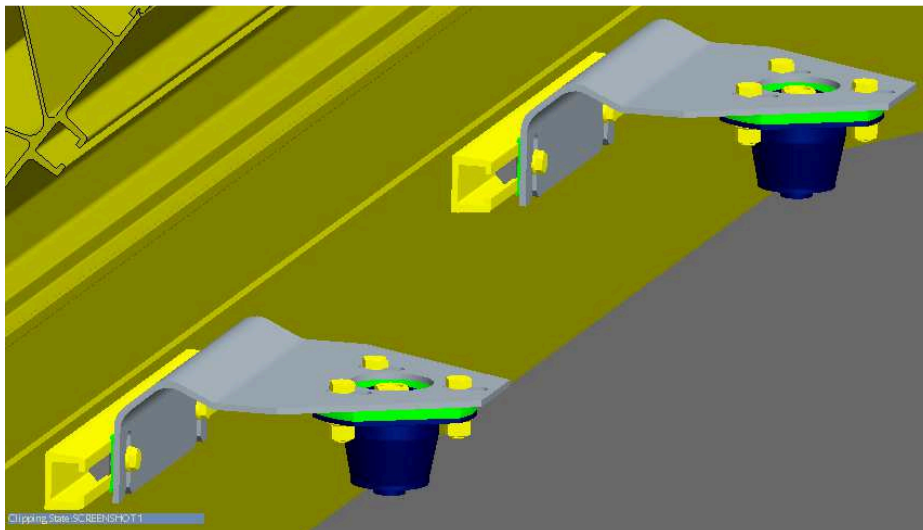
Obr. 4.7 Zadávání parametrů materiálu náhradního válce do PRO/ENGINEER



Obr. 4.8 Výsledný radiální posuv výpočtového modelu silentbloku [mm]

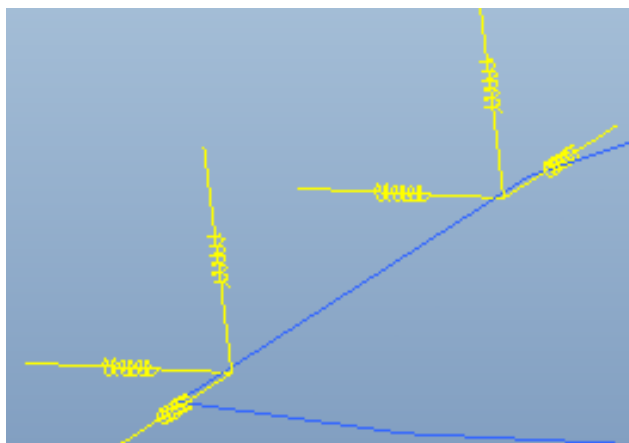
### 4.3.2 Nahrazení silentbloků uchycení do bočnice

Výpočtový model tohoto uchycení je již mnohem jednodušší. Uchycení WC buňky do bočnice není v kontaktu s pevnostně řešenou podlahou buňky, proto je možné tuhost tohoto uchycení ve výpočtu nahradit tuhostmi pružin. Tuhosti silentbloku Simrit 057 18 756 jsou  $k_a = 600 \text{ N}\cdot\text{mm}$  a  $k_r = 2100 \text{ N}\cdot\text{mm}$  (viz Obr. 4.3).



Obr. 4.9 Konstrukční řešení uchycení do bočnice hrubé stavby

V dalším výpočtu (viz kap. 5) jsou místa uchycení na stropu WC nahrazeny body. K těmto bodům jsou připojeny pružiny s tuhostmi  $k_a$  a  $k_r$  – vždy 1 pružina v axiálním směru silentbloku (směr osy  $y$ ) a 2 pružiny v na sebe navzájem kolmých radiálních směrech (směry os  $x$  a  $z$ ).



Obr. 4.10 Nahrazení silentbloků pružinami

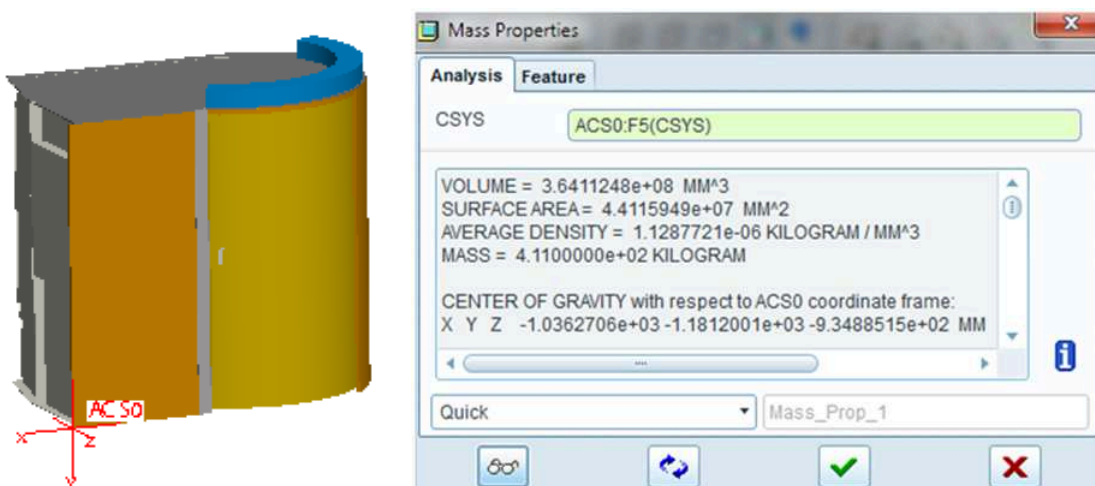
## 5. Pevnostní a silová analýza WC buňky

V této analýze byla pevnostně a deformačně zkontrolována navrhnutá podlaha z hliníkového sendviče AluCore. Dále byly zjištěny reakce v podpěrných místech buňky, podle kterých byla zkontrolována navrhnutá upevnění WC buňky. Pro výpočet byl použit program PRO/ENGINEER (13).

Výpočet musí vyhovovat normě EN 12663-1 (7), zabývající se pevnostními požadavky na konstrukce skříní železničních vozidel a navíc musí být respektována kritéria stanovená firmou Siemens, s.r.o. (viz kap. 5.5 Výpočet a kontrola deformací).

### 5.1 Výpočet hmotnosti WC buňky a jejího těžiště

Pro pevnostní analýzu je třeba provést výpočet hmotnosti WC buňky a jejího těžiště. K jeho zjištění bylo použito modelu buňky a programu PRO/ENGINEER (13). Součástí modelu pro zjištění těžiště nebyla podlaha buňky.



Obr. 5.1 Zjištění polohy těžiště WC buňky a její hmotnosti

K poloze těžiště (viz Obr. 5.1) ve směru osy y  $T_y' = -1181,20$  mm je potřeba přičíst (vektorově) polovinu rozdílu tloušťek sendviče AluCore a náhradní desky, aby byla v dalším výpočtu zachována vzdálenost těžiště od střední roviny podlahy:

$$T_y = T_y' - 0,5(t - t^*) = -1181,20 - 0,5(25 - 11,67) = -1187,9 \text{ mm} \quad (5.1)$$

Poloha těžiště WC buňky (bez podlahy) pro výpočet s náhradní deskou podlahy je tedy:

$$T_{(x;y;z)} = (-1036,3; -1187,9; -934,9) \text{ mm} \quad (5.2)$$

## 5.2 Definice zatížení buňky

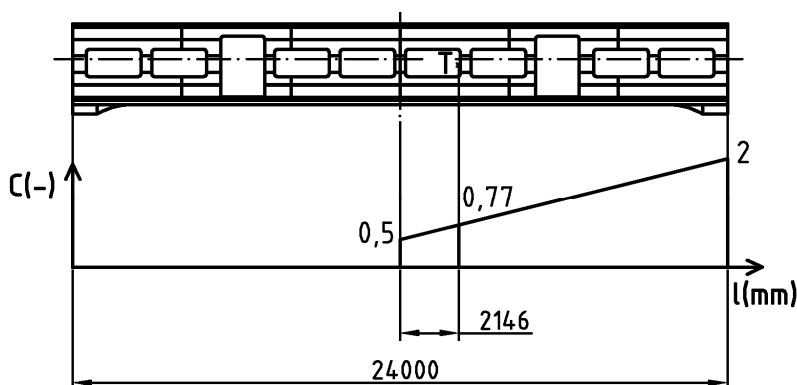
Kritická namáhání jsou dle (7) definována jako namáhání způsobená mezním zrychlením. Pro kategorii P-II (ucelené vlakové jednotky a osobní vozy) platí:

Tab. 5.1 - Mezní zrychlení kategorie P-II železničních vozů dle (7)

Směr zrychlení	x (podélný směr)	z (příčný směr)	y (svislý směr)
Zrychlení $a$	$\pm 3 \text{ g} = \pm 29,43 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$	$\pm \text{g} = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$	$(1\pm C) \text{ g} = 9,81(1\pm C) \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

\* $C = 2$  na konci vozidla a lineárně klesá na 0,5 ve středu vozidla.

Konkrétní zrychlení pro směr osy y se vypočte ze vzdálenosti těžiště buňky WC ve vagóně od příčné osy vozidla  $T_x = 2146 \text{ mm}$ .



Obr. 5.2 Zjištění konstanty  $C$  pro výpočet zrychlení  $a_y$  (rozměr  $l$  je ve směru osy x)

Výpočet zrychlení ve směru osy y (ze vzorce podle Tab. 5.1):

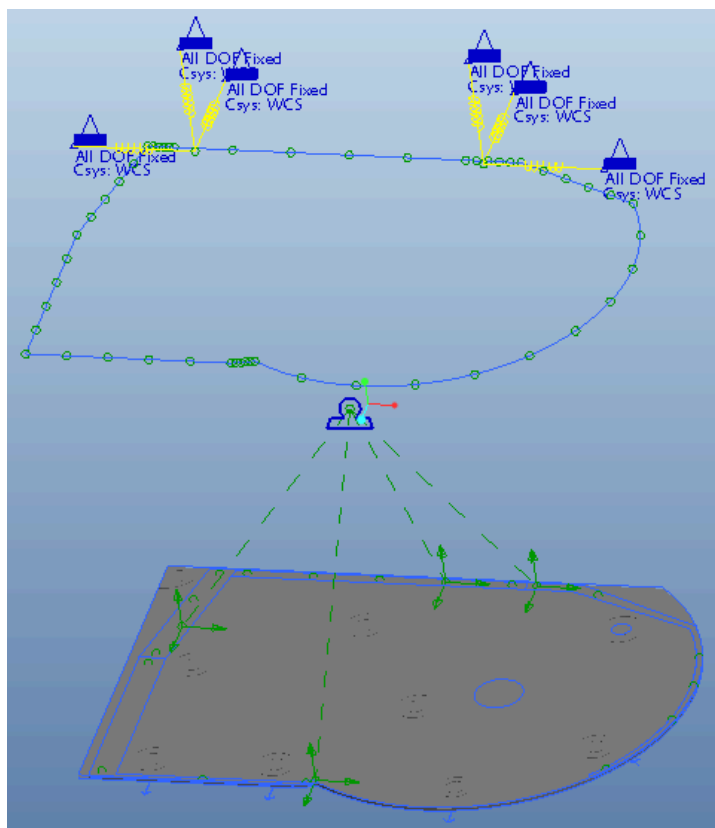
$$a_{y\max} = (1 + C) \cdot g = (1 + 0,77) \cdot 9,81 = 17,36 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (5.3)$$

$$a_{y\min} = (1 - C) \cdot g = (1 - 0,77) \cdot 9,81 = 2,26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (5.4)$$

Jak je vidět v Tab. 5.1, tak existuje 8 kombinací zrychlení ve směrech x, y, z, jejichž působením musí odolávat samotná WC buňka i její uchycení. Zde bude řešena pro navrženou konstrukci nejméně příznivá varianta  $a_{(x,y,z)} = (-29,43; 17,36; 9,81) \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

### 5.3 Okrajové podmínky a tvorba sítě prvků

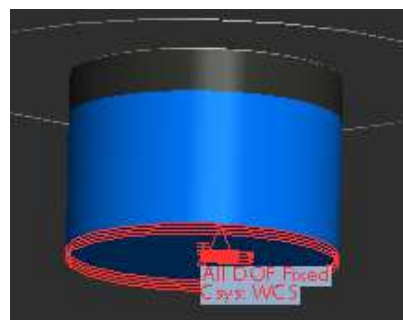
Na Obr. 5.3 jsou vidět okrajové podmínky a idealizace aplikované při výpočtu.



Obr. 5.3 Okrajové podmínky

WC buňka (kromě podlahy) byla nahrazena hmotným bodem a byla spojena s podlahou rigidní vazbou na ploše půdorysu stěn buňky. Místa uchycení do bočnice na WC buňce byla nahrazena body - připojenými k podlaze stejně jako v případě hmotného bodu - ke kterým byly připojeny pružiny (viz kap. 4.3.2). Tyto pružiny byly na opačných koncích vetknuty. Z důvodu výpočtu posuvů WC buňky byl obrys stropu buňky nahrazen tenkými tyčovými prvky.

V místech uchycení podlahy buňky byly k této podlaze pevnou vazbou připojeny silentbloky (modrá barva) s prvky z ocele vyrovnávajícími napětí (černá barva). Z důvodu jistých omezení při výpočtu reakcí v PRO/ENGINEER bylo třeba ke koncům silentbloků připojit krátké tyčové prvky (červená barva) a jejich konce vetknout.

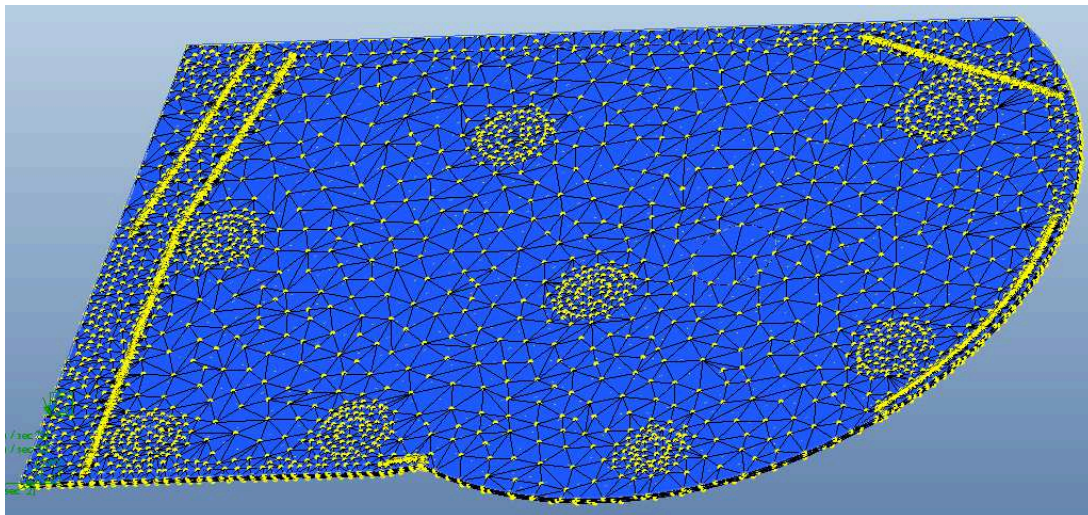


Obr. 5.4 Uchycení do podlahy

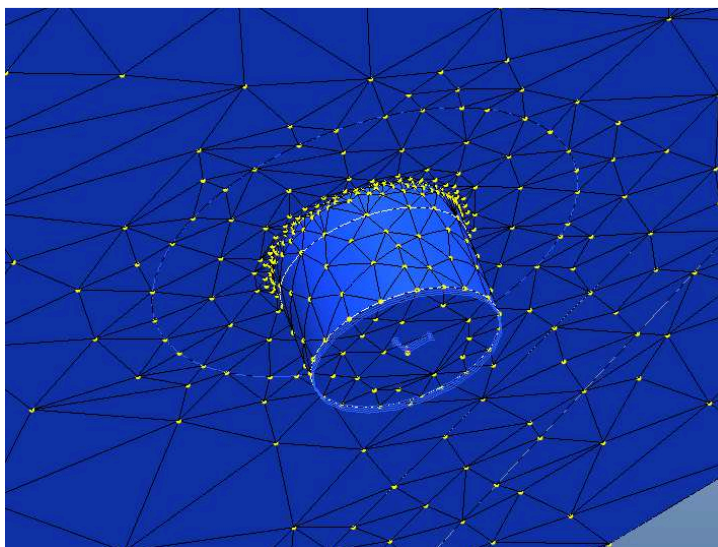


## Tvorba sítě prvků

Výpočtový program PRO/ENGINEER (13) používá systém automatické tvorby sítě prvků. Pro zpřesnění výpočtů bylo potřeba síť zjemnit v místech s lokálními koncentracemi napětí.



Obr. 5.5 Síť prvků po optimalizaci objemovými a plošnými regiony

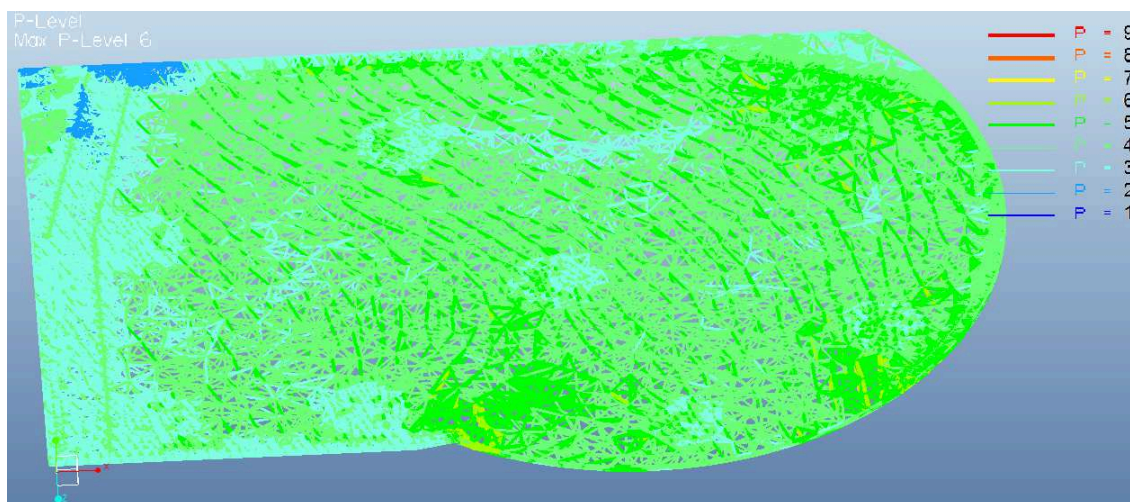


Obr. 5.6 Detail sítě prvků v okolí silentbloku

## Kontrola přesnosti výpočtu

Výpočet v programu PRO/ENGINEER (13) je postaven na adaptivní P - technologii, která zvyšuje při každé iteraci výpočtu stupeň polynomu bazových funkcí na hranách geometrických elementů. Navýšení stupně polynomu je provedeno vždy u těch prvků, u kterých není splněna požadovaná konvergence mezi jednotlivými iteracemi.

Při vyhodnocování přesnosti výpočtu je třeba zohlednit dosažené stupně polynomu. Do 6. popř. do 7. stupně polynomu jsou výsledky spolehlivé, ovšem při přesáhnutí tohoto stupně může být výpočet nepřesný.

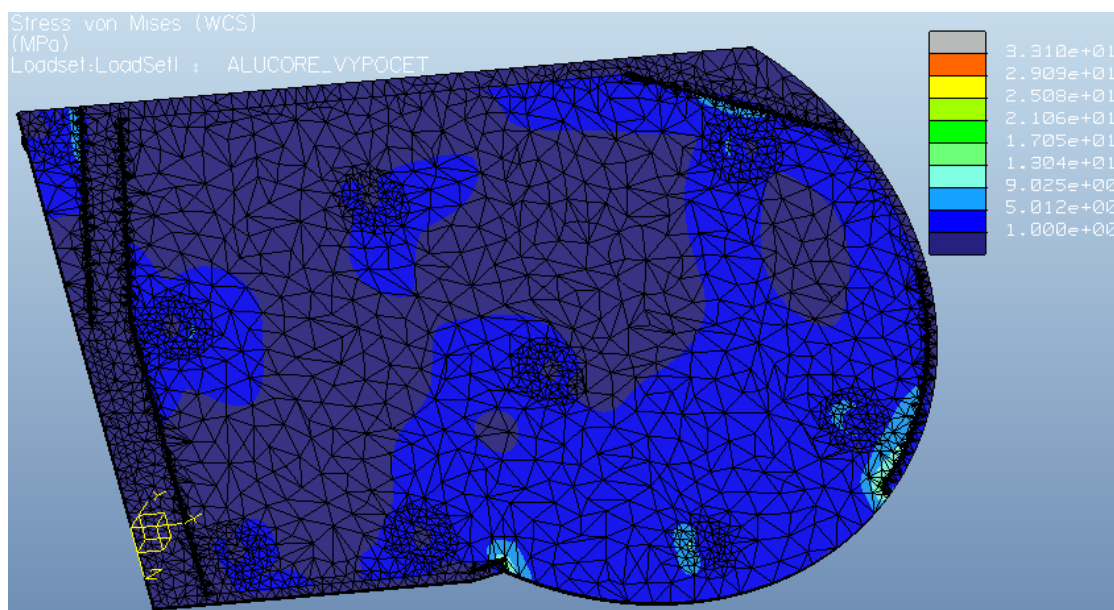


Obr. 5.7 Zobrazení dosažených stupňů polynomu při výpočtu

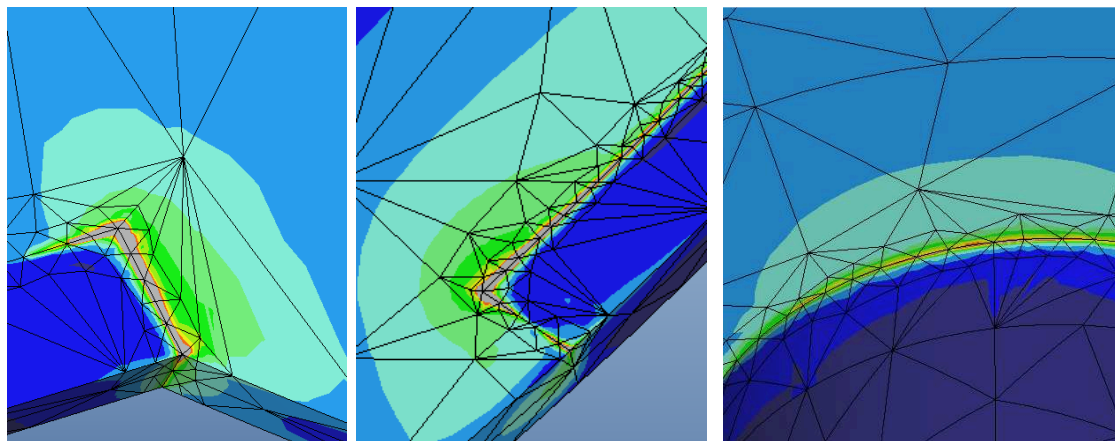
Díky vhodné úpravě sítě prvků došlo k navýšení stupně polynomu maximálně na 6. stupeň, a to pouze u 12 prvků. Proto lze z tohoto hlediska považovat analýzu za dostatečně přesnou.

## 5.4 Pevnostní kritéria a kontrola

Při pevnostní kontrole sendvičového materiálu se předpokládá, že ohybové a tahové složky napětí nesou pouze horní a dolní plechy a na výplň sendviče působí pouze tah/tlak (ve směru tloušťky sendviče) a případně také smyk. Napětí z ohybu na povrchu náhradní výpočtové desky odpovídá napětí na povrchu sendviče. Parametry v tahu se ovšem liší, proto je potřeba při výpočtu použít vhodné korekce (viz dále).



Obr. 5.8 Redukované napětí dle HMH [MPa]



Obr. 5.9 Detaily (zleva: A, B, C) v místech napěťových špiček

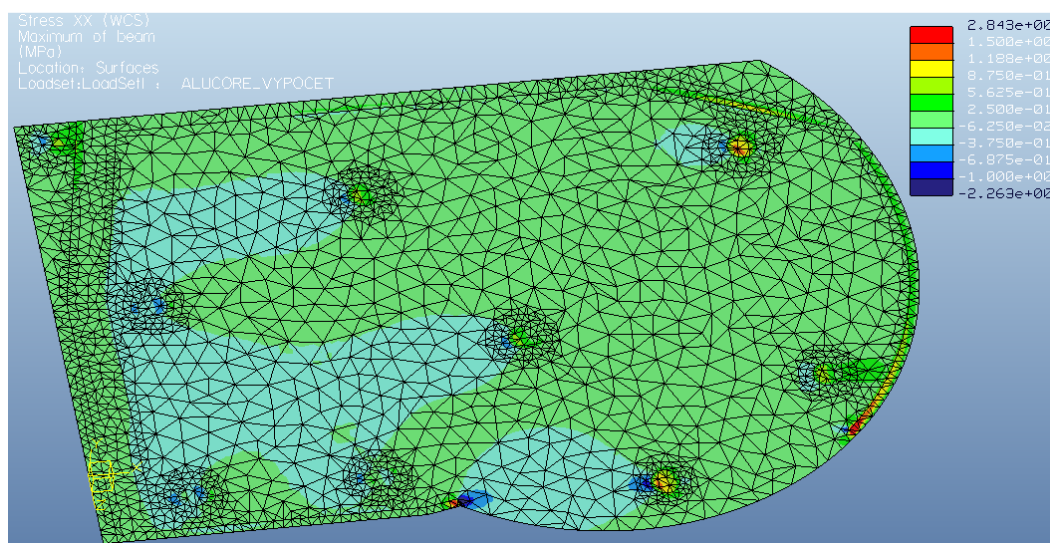
Z Obr. 5.8 je patrné, že výpočet obsahuje napěťové špičky. Na detailech A a B na Obr. 5.9 jsou vidět napěťové špičky na okrajích plošného regionu, spojeného rigidní vazbou s těžištěm WC buňky. Tato vazba vytváří umělou ostrou hranu a tím pádem i singularitu. Singularita znehodnocuje především přilehlé elementy, proto bylo provedeno značné zhuštění sítě prvků v okolí těchto extrémů napětí.



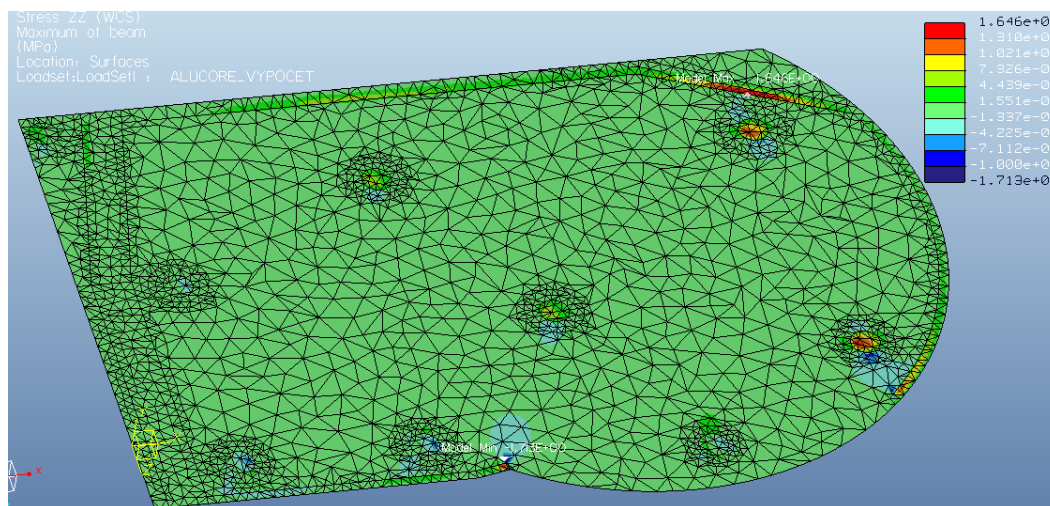
Napěťové špičky v takto vytvořených drobných elementech ovlivněných singularitou (tedy pouze v elementech sousedících se singularitou) je možné vypustit z vyhodnocování analýzy. Tyto napěťové špičky jsou na Obr. 5.8 a Obr. 5.9 znázorněny šedou barvou. Reálné maximální redukované napětí je pak  $\sigma_{red,max}^* = 33,1$  MPa.

### Provedení korekce pro tlako-tahovou složku namáhání

Pro provedení korekce na tah/tlak je potřeba znát tahové složky ve směrech os x a z. Tyto složky byly zjištěny ze střední roviny náhradní desky, kde se nepromítá ohyb.



Obr. 5.10 Napětí ve směru osy x střední roviny náhradní desky [MPa]



Obr. 5.11 Napětí ve směru osy z střední roviny náhradní desky [MPa]

Maximální hodnoty tahových napětí ve směrech x a z jsou:

$$\sigma_{tx,max}^* = 2,8 \text{ MPa} , \sigma_{tz,max}^* = -1,7 \text{ MPa}$$

Maximální tahové napětí se pak vypočte:

$$\sigma_{t,max}^* = \sqrt{\sigma_{tx,max}^{*2} + \sigma_{tz,max}^{*2}} = \sqrt{2,8^2 + (-1,7)^2} = 3,3 \text{ MPa} \quad (5.5)$$

Tento výpočet není zcela korektní, přesnější by bylo odečtení hlavních napětí ve střední rovině desky a z nich zjištění redukovaného napětí. Nicméně vzhledem k velikosti napětí a k hodnotě výsledné bezpečnosti (viz dále) jsem zůstal u tohoto výpočtu.

Konstanta pro přepočet tahové/tlakové složky namáhání z nahrazení hliníkového sendviče náhradní výpočtovou deskou je:

$$k_t = \frac{\sigma_t}{\sigma_t^*} = \frac{\frac{F_t}{S}}{\frac{F_t}{S^*}} = \frac{t^*}{2 \cdot t} = \frac{11,76}{2 \cdot 1} = 5,88 \quad (5.6)$$

Kde  $t^*$  je tloušťka náhradní desky a  $t$  je tloušťka krycího plechu hliníkového sendviče. Při jistém zjednodušení (které je na straně bezpečnosti) bylo počítáno pouze s napětím v ohybu a v tahu. Dalším předpokladem zjednodušení byla nejnepříznivější orientace napětí – souběžnost tahové a ohybové složky. Pak pro redukované napětí sendviče platí:

$$\sigma_{red,max} = \sigma_{t,max} + \sigma_{o,max} = \sigma_{t,max}^* \cdot k_t + \sigma_{red,max}^* - \sigma_{t,max}^* \quad (5.7)$$

$$\sigma_{red,max} = 3,3 \cdot 5,88 + 33,1 - 3,3 = 49,1 \text{ MPa}$$

Výpočet statické bezpečnosti:

$$k_s = \frac{Re_{0,2}}{\sigma_{red,max}} = \frac{160}{49,1} = 3,3 \quad (5.8)$$

Dle (7) je minimální statický součinitel bezpečnosti pro výpočty nepodložené experimentální zkouškou  $k_s = 1,5$ .

Vzhledem k použitým zjednodušením ve výpočtu - nahrazení zbytku WC buňky hmotným bodem a jeho pevným napojením na plochu půdorysu stěn je vypočtená bezpečnost vyhovující. Při této bezpečnosti nehrozí žádné poškození materiálu.

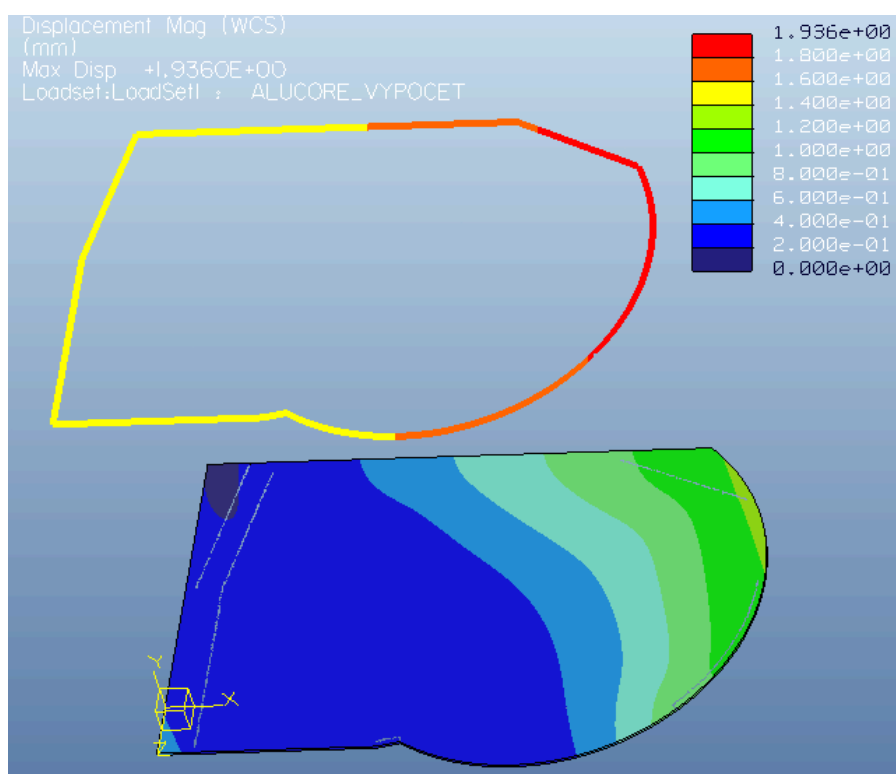
Dynamická kontrola nebude provedena, protože dynamické namáhání od mezního zatížení dosahuje během životnosti vagónu maximálně pár stovek cyklů. Běžné provozní dynamické namáhání pak nepůsobí u řešené konstrukční skupiny dle zkušeností Siemens, s.r.o. cyklické poškození.

## 5.5 Výpočet a kontrola deformací

Deformačními kritérii jsou požadavky Siemens, s.r.o. na maximální posuv komponentů buňky vůči hrubé stavbě  $s_{dov} = 2$  mm (platí pro směry x, y, z) při mezních hodnotách zrychlení dle (7). Dalším požadavkem je maximální prohnutí podlahy  $s_{dovy} = 1$  mm po jejím zatížení 150 kg (tato zátěž simuluje stoupnutí na podlahu buňky nohou).

### 5.5.1 Deformace WC buňky při mezním zatížení

Deformace (posuv) WC buňky jako celku je dán především tuhostmi silentbloků použitých v uchycení do podlahy a bočnice hrubé stavby.

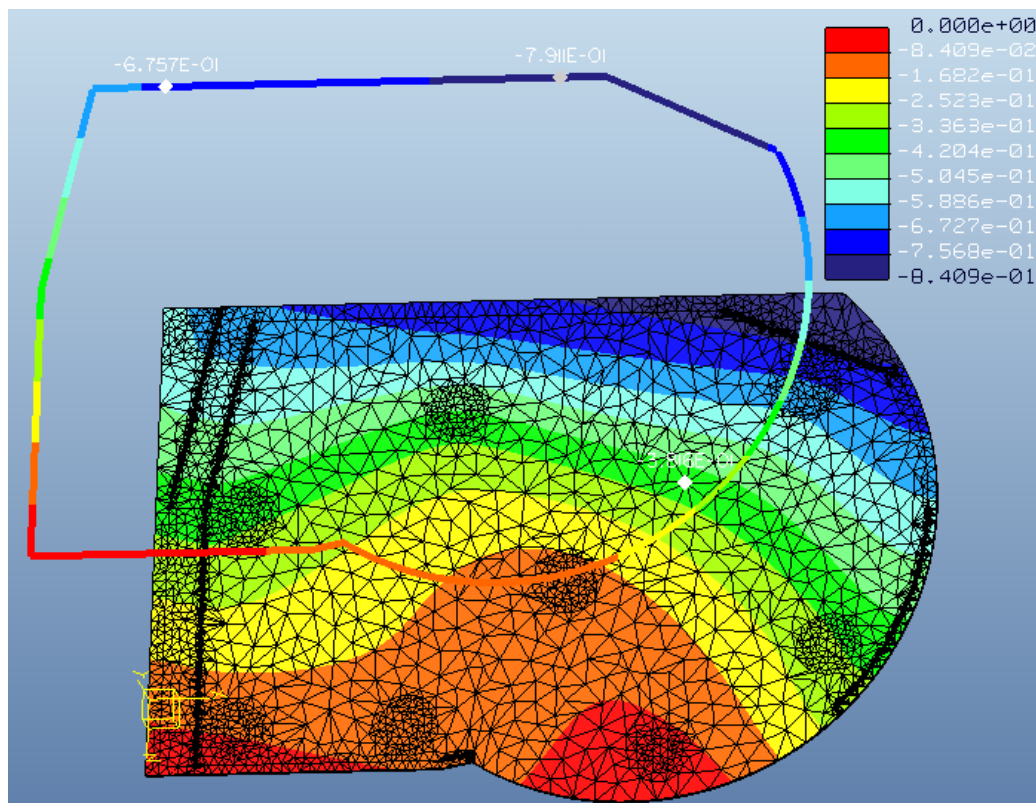


Obr. 5.12 Celková deformace WC buňky [mm]

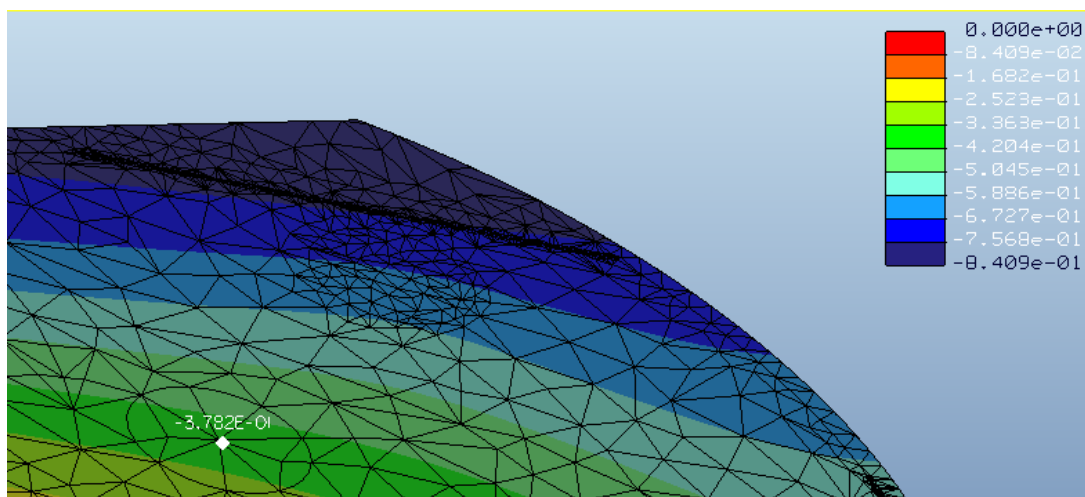
Celková maximální deformace WC buňky je  $s_{max} = 1,9$  mm, což je méně než maximální dovolená deformace  $s_{dov} = 2$  mm pro směry os souřadného systému, proto není nutné kontrolovat posuvy jednotlivých směrů zvlášť.

## 5.5.2 Posuv při zatížení vlastní hmotností

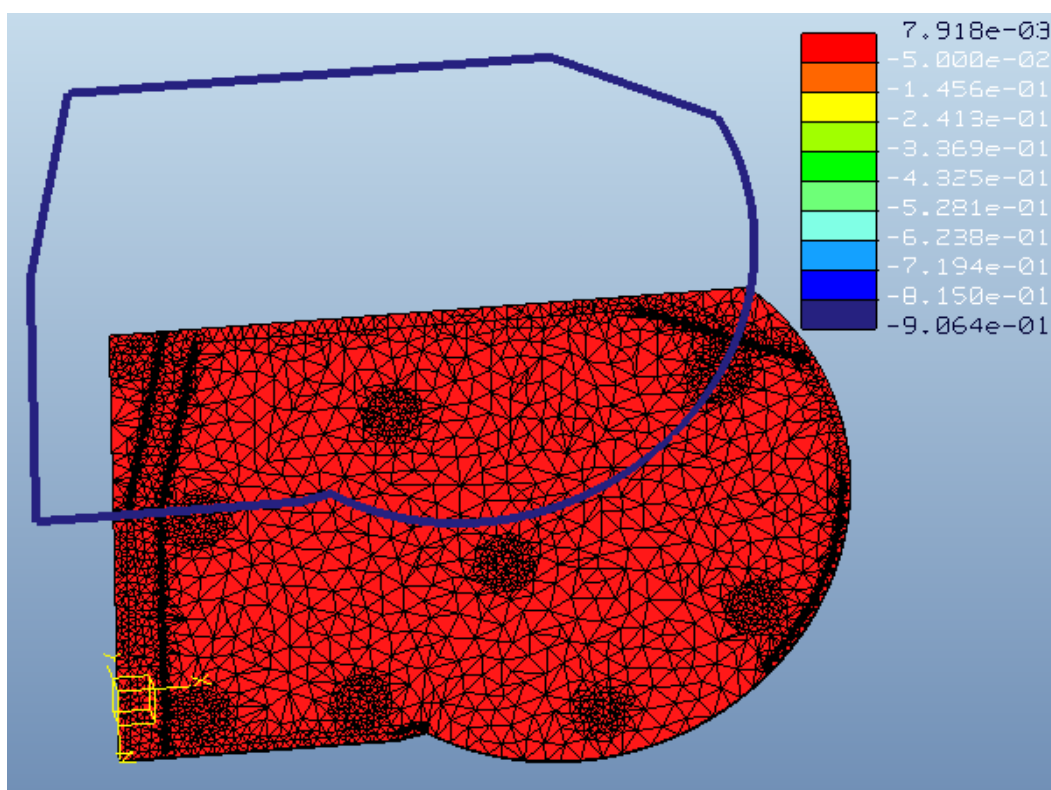
Výpočet této deformace (posuvu) je důležitý pro montáž WC buňky a kvůli další kontrole (viz dále). Na buňku v tomto případě působí jen zrychlení  $a_y = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  a nepůsobí zde direkční síly od uchycení do bočnice.



Obr. 5.13 Posuv WC buňky ve směru osy y [mm]



Obr. 5.14 Posuv v místě zatížení 150 kg (kap. 5.5.3)  $s_y' = 0,38 \text{ mm}$



Obr. 5.15 Posuv WC buňky ve směru osy z [mm]

### Posuvy podlahy WC buňky

Maximální posuv ve směru osy y je  $s_{maxy} = 0,84$  mm. Posuv v místě zatížení 150 kg (viz kap. 5.5.3) je  $s_{y'} = 0,38$  mm. Posuvy ve směru os x a z jsou zanedbatelné.

### Posuvy WC buňky v místech jejího uchycení do bočnice

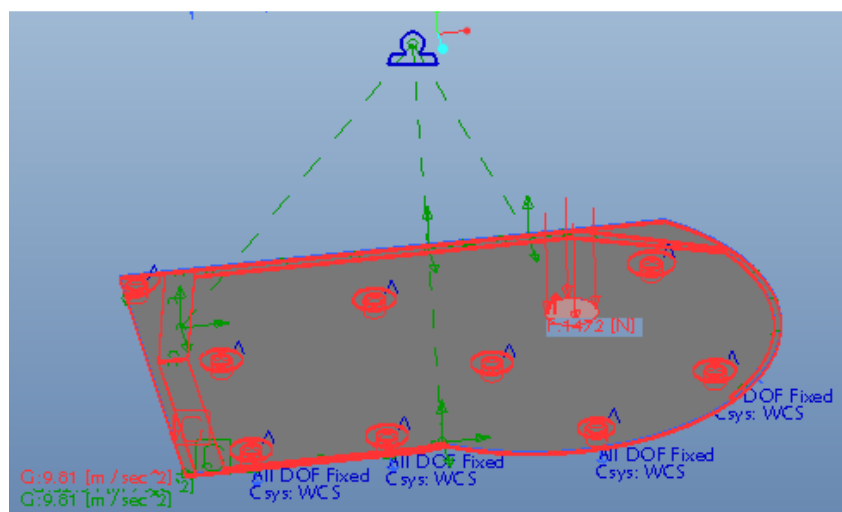
U těchto posuvů je kvůli přehlednosti uvažována i jejich orientace. Posuvy ve směru osy y jsou -0,68 mm a -0,79 mm (viz Obr. 5.13). Maximální posuv ve směru osy y je tedy  $s_{maxy} = -0,79$  mm. Maximální posuv ve směru osy z je  $s_{maxz} = -0,91$  mm. Posuv ve směru osy x je zanedbatelný.

Kontrola posuvů ve směrech y a z je důležitá i kvůli výpočtu rozměrových obvodů (viz kap. 6), zjištěné hodnoty ovšem nemají na rozměrové obvody zásadní vliv.

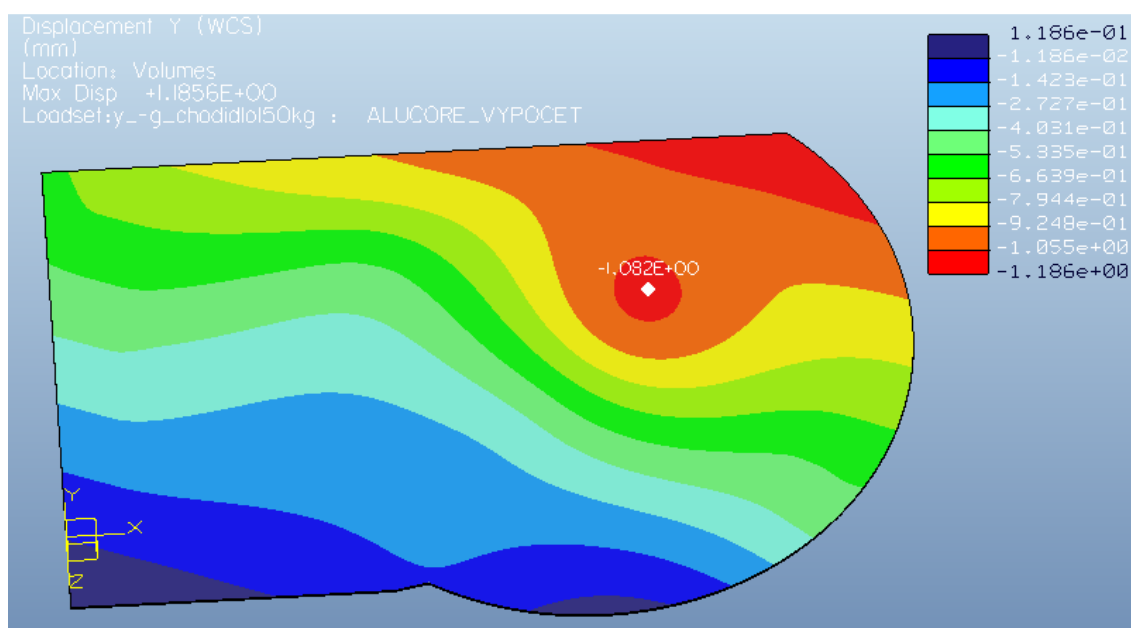


### 5.5.3 Deformace podlahy při zatížení 150 kg

Při tomto výpočtu na podlahu působí zrychlení  $a_y = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  a síla od stoupnutí lidské nohy v kritickém místě na ploše o  $\phi 20 \text{ mm}$ .



Obr. 5.16 Zatížení podlahy WC buňky



Obr. 5.17 Deformace podlahy WC buňky ve směru osy y [mm]

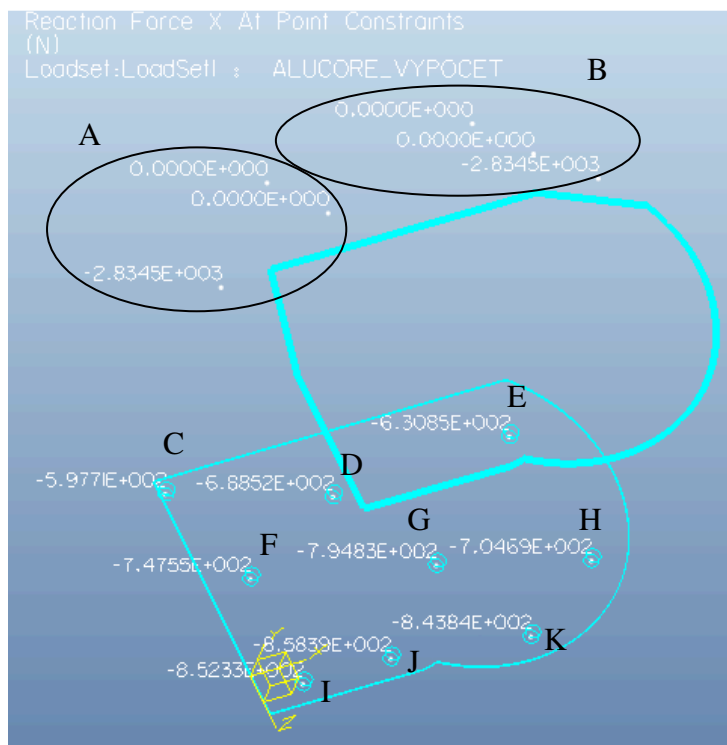
Deformace podlahy v místě stoupnutí je  $s_y'' = 1,08 \text{ mm}$ . Po odečtení posuvu při působení vlastní tíhy  $s_y' = 0,38 \text{ mm}$  (viz Obr. 5.14) je reálná deformace po stoupnutí:

$$s_y = s_y'' - s_y' = 1,08 - 0,38 = 0,7 \text{ mm} \quad (5.9)$$

Tato deformace je menší než  $s_{dovy} = 1 \text{ mm}$ , proto podlaha deformačně vyhovuje.

## 5.6 Zjištění reakčních sil v podporách

Díky použití bodových vazeb ve výpočtu je možné vyčíslit velikosti reakcí v místech vetknutí. Zobrazení hodnot ve výpočtovém programu pro směr x je vidět na Obr. 5.18. Hodnoty pro všechny směry os souřadného systému pak ukazuje Tab. 5.2. Výpočet radiální síly  $F_r$  je proveden jako vektorový součet sil ve směrech x a z.



Obr. 5.18 Reakce v místech podpor A – K ve směru osy x

Tab. 5.2 - Velikosti reakcí v podporách

Podpora	Reakce $F_x$ [N]	Reakce $F_y$ [N]	Reakce $F_z$ [N]	Reakce $F_r$ [N]
A	-2834,5	125,5	1159,6	3062,5
B	-2834,5	531,6	1273,9	3107,6
C	-597,8	0,6	43,6	599,4
D	-668,5	451,2	111,5	677,7
E	-630,9	1438,2	276,9	689,0
F	-747,6	-16,8	71,1	751,0
G	-794,8	267,0	237,6	829,6
H	-704,7	1182,3	432,3	826,7
I	-852,3	-256,0	65,7	854,8
J	-858,4	146,0	190,0	879,2
K	-843,8	259,6	267,3	885,1

## 6. Rozbor problematiky tolerancí hrubé stavby

Při konstrukčním návrhu a výrobě železničního vagónu hrají velkou roli tolerance. Z důvodu výskytu velkého množství konstrukčních skupin, svařované konstrukce vagónu, atd. je nutné rozměrové obvody a tím pádem i hrozící interference kontrolovat.

### Rozměrové a geometrické tolerance dle ISO 2768 – mK

Většina dílů interiéru a rozměrové požadavky na umístění při montáži se řídí normou ISO 2768 – mK. Dle (3) nabývají tolerance těchto hodnot:

Tab. 6.1 - Mezní úchytky délkových rozměrů

Jmenovitý rozměr (mm)	0,5 do 3	přes 3 do 6	přes 6 do 30	přes 30 do 120	přes 120 do 400	přes 400 do 1000	přes 1000 do 2000	přes 2000 do 4000
Mezní úchytky (mm)	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2

Tab. 6.2 - Mezní úchytky úhlových rozměrů

Jmenovitý rozměr (mm)	do 10	přes 10 do 50	přes 50 do 120	přes 120 do 400	přes 400
Mezní úchytky	±1°	±30′	±20′	±10′	±5′

Nejdůležitější geometrickou tolerancí v problematice upevnění WC buňky v hrubé stavbě železničního vagónu je tolerance rovinnosti (přímosti). Ta se uplatňuje při vyrovnávání výškových rozdílů upevňovacích bodů podlahy buňky:

Tab. 6.3 - Tolerance rovinnosti pro rozsah jmenovitých délek

Jmenovitý rozměr (mm)	do 10	přes 10 do 30	přes 30 do 100	přes 100 do 300	přes 300 do 1000	přes 1000 do 3000
Tolerance (mm)	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8

## Rozměrové a geometrické tolerance dle EN ISO 13 920 BF

Tato norma určuje nepředepsané tolerance svařence. Rozměrové tolerance dle normy EN ISO 13920 BF (6) jsou:

Tab. 6.4 - Mezní úchytky délkových rozměrů

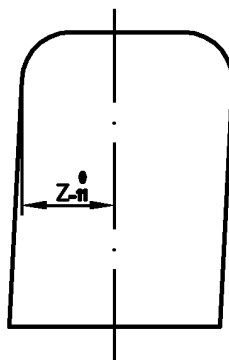
Jmenovitý rozměr (mm)	2 do 30	přes 30 do 120	přes 120 do 400	přes 400 do 1000	přes 1000 do 2000	přes 2000 do 4000	přes 4000 do 8000
Mezní úchytky (mm)	$\pm 1$	$\pm 2$	$\pm 2$	$\pm 3$	$\pm 4$	$\pm 6$	$\pm 8$

Tab. 6.5 - Tolerance rovinnosti pro rozsah jmenovitých délek

Jmenovitý rozměr (mm)	přes 30 do 120	přes 120 do 400	přes 400 do 1000	přes 1000 do 2000	přes 2000 do 4000	přes 4000 do 8000
Tolerance (mm)	$\pm 1$	$\pm 1,5$	$\pm 3$	$\pm 4,5$	$\pm 6$	$\pm 8$

## Rozměrové a geometrické tolerance dle DIN 25 043

Tato norma (5) určuje tolerance, které musí splňovat hrubá stavba železničního vagónu jako svařený celek. Pro tento rozbor je důležitá rozměrová tolerance šířky hrubé stavby.



Obr. 6.1 Tolerance šířky vlaku

S těmito všemi tolerancemi je tedy třeba uvažovat z hlediska montáže WC buňky a kvůli zamezení hrozících kolizí komponentů.

Při montáži WC buňky do podlahy hrubé stavby jsou tolerance vyrovnány v každém uchycení velikostí díry pro šroub v podlaze buňky. U montáže buňky do bočnice hrubé stavby jsou tolerance vyrovnány drážkami v konzole uchycení.

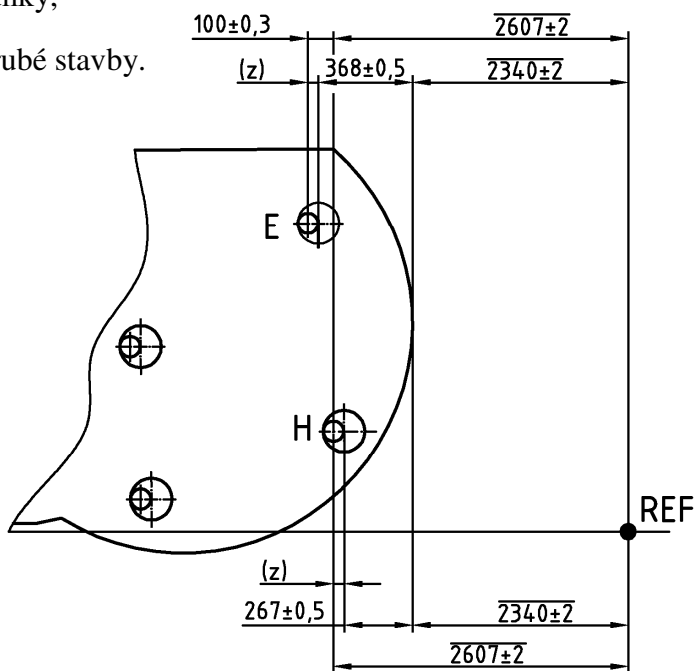
## 6.1 Výpočet rozměrových obvodů uchycení buňky do podlahy

Při výpočtu rozměrového obvodu se vychází z referenčního bodu hrubé stavby železničního vagónu. Ten je umístěn v podélné ose vozu a současně v ose nástupního prostoru. Silentblok pro toto uchycení má 4 otvory pro umístění na spodní straně – otvory s dostatečnou vůlí pro vyrovnání nepřesností samotného silentbloku. Proto tyto díry spolu se silentbloom do výpočtu vstupovat nebudou. Dále při použití tolerancí pro uložení s vůlí pro šroubový spoj silentbloku s podlahou WC buňky je možné počítat jen s polohou os děr tohoto spoje a neuvažovat s tolerancemi tohoto uložení. Ve výpočtu jsou použity pouze tolerance ISO 2768 – mK (3).

### Výpočet rozměrových obvodů ve směru osy x

Rozměrový obvod pro uchycení H (viz Obr. 6.2) bude počítán mezi těmito entitami:

- referenční bod hrubé stavby,
- střed umístění silentbloku na hrubé stavbě (= osa šroubu pro uchycení silentbloku shora - malý průměr díry na Obr. 6.2),
- závěrný člen z,
- osa díry v podlaze WC buňky (velký průměr díry na Obr. 6.2),
- hrana podlahy buňky,
- referenční bod hrubé stavby.



Obr. 6.2 Rozměrové obvody uchycení H a E ve směru x

Z jedné strany od referenčního bodu se tak sledují tolerance od vrtání děr do podlahy hrubé stavby. Z druhé strany se pak sleduje ustavení buňky v interiéru vzhledem k referenčnímu bodu a také tolerance polohy děr vrtaných v podlaze WC buňky.

Pro všechny ostatní připojovací body (na Obr. 6.2 je to např. bod E) pak přibývá další kóta, a to mezi připojovacím bodem H a zkoumaným bodem rozměrového obvodu. Rozměrový obvod je pak počítán mezi těmito entitami:

- referenční bod hrubé stavby,
- střed umístění silentbloku H na hrubé stavbě (malý průměr díry na Obr. 6.2),
- střed umístění zkoumaného silentbloku na hrubé stavbě (malý průměr díry na Obr. 6.2),
- závěrný člen  $z$ ,
- osa díry v podlaze WC buňky (velký průměr díry na Obr. 6.2),
- hrana podlahy buňky,
- referenční bod hrubé stavby.

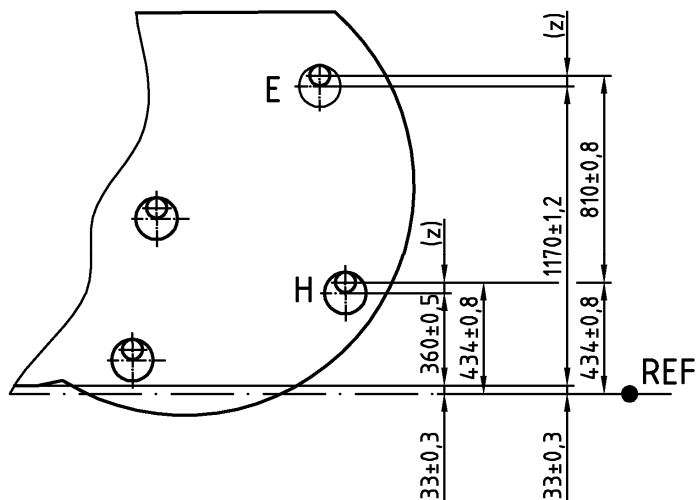
Z hlediska výpočtu potřebné vůle ve šroubovém spoji je nejdůležitější vypočítat rozměrový obvod pro bod nejvzdálenější od referenčního bodu. Tím je bod C. Vzhledem k symetrickým tolerancím lze velikosti maximálního přesazení os připojovacích elementů (= úchytky závěrného členu  $\Delta z$ ) vypočítat jednoduchým součtem tolerancí všech členů rozměrového obvodu.

*Tab. 6.6 - Výpočet rozměrových obvodů pro směr  $x$  s tolerancemi dle ISO 2768 - mK*

Bod	$l_1$	$\Delta l_1$	$l_2$	$\Delta l_2$	$l_3$	$\Delta l_3$	$l_4$	$\Delta l_4$	$\Delta z_x$
H	2607	$\pm 2,0$	2340	$\pm 2,0$	267	$\pm 0,5$	-	-	$\pm 4,5$
E					368	$\pm 0,5$	100	$\pm 0,3$	$\pm 4,8$
C					2262	$\pm 2,0$	1995	$\pm 1,2$	$\pm 7,2$

### Výpočet rozměrových obvodů ve směru osy z

Výpočet je proveden obdobně jako pro směr x. První zkoumaný je přípojovací bod H a ostatní body jsou opět počítány od něj.



Obr. 6.3 Rozměrové obvody uchycení H a E ve směru z

Tab. 6.7 - Výpočet rozměrových obvodů pro směr z s tolerancemi dle ISO 2768 - mK

Bod	$l_1$	$\Delta l_1$	$l_2$	$\Delta l_2$	$l_3$	$\Delta l_3$	$l_4$	$\Delta l_4$	$\Delta z_z$
H	434	±0,8	33	±0,3	360	±0,5	-	-	±1,6
E					1170	±1,2	810	±0,8	±3,1
C					1400	±1,2	1040	±1,2	±3,5

Výsledné přesazení bodu C - nejvzdálenějšího bodu od referenčního bodu hrubé stavby:

$$\Delta z = \pm \sqrt{z_x^2 + z_z^2} = \sqrt{(\pm 7,2)^2 + (\pm 3,5)^2} = \pm 8 \text{ mm} \quad (6.1)$$

Pro vyrovnaní maximálního přesazení os šroubového spoje o velikosti 8 mm je třeba při velikosti šroubu M16 použít díru minimálně o  $\phi 32$  mm.

### Výpočet rozměrových obvodů ve směru osy y

Ve směru této osy je třeba vyrovnat rovinnou toleranci podlahy hrubé stavby. Ta se neřídí normou EN ISO 13920 BF, ale je dána výkresem a její velikost pod podlahou WC buňky je rovna 2 mm (dle 40). Tato tolerance bude vyrovnávána podložkami o tloušťkách 0,5 a 0,3 mm, které zajistí její dostatečně přesné vyrovnaní.

## 6.2 Výpočet rozměrových obvodů uchycení buňky do bočnice

U uchycení v tomto místě jsou tolerance vyrovnány dlouhými drážkami v konzole uchycení. Zvětšování délky těchto drážek není omezeno tak, jako v případě díry u uchycení do podlahy, proto je možné vycházet pouze z úchylek, které zde hrají dominantní roli a drážky vyrobí dostatečně dlouhé. Při návrhu délky těchto drážek bylo přihlédnuto k dominantním úchytkám pro toto uchycení:

- Pro směr y jsou to úchytky  $\pm 6$  mm (pro vzdálenost od podlahy hrubé stavby k ose C – drážky 2354 mm, dle EN ISO 13920 BF) a tolerance rovinnosti 2 mm daná výkresem hrubé stavby (40).
- Pro směr z jsou to úchytky +0 mm, -11 mm (dle DIN 25 043, viz Obr. 6.1 )
- Ve směru x jsou tolerance výroby vyrovnávány posunem uchycení v C – drážce hrubé stavby.

Ostatní úchytky rozměrových obvodů se již řídí normou ISO 2768 – mK, jsou výrazně menší a jejich součet (včetně zjištěných posuvů buňky v klidovém stavu z kap. 5.5.2) nepřevyšuje hodnoty úchylek uvedené výše. Proto se při určování délek drážek vycházelo z dvojnásobku dominantních úchylek.

Krajní polohy šroubů v drážkách vzhledem k teoreticky přesné poloze podle zavedeného souřadného systému jsou:

- Pro směr y: + 14 mm, -14 mm
- Pro směr z: + 17 mm, -6 mm



## 7. Výpočet šroubových spojů

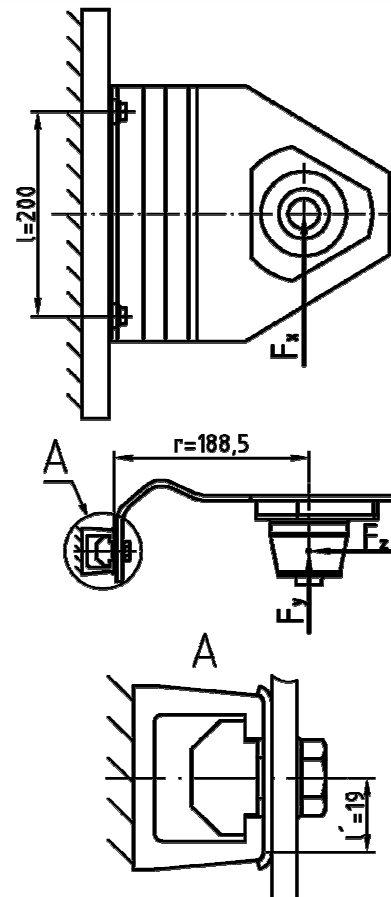
Zde budou řešeny šroubové spoje na základě vypočtených sil v kap. 5.6.

### 7.1 Šroubový spoj v C – drážce bočnice hrubé stavby

Uchycení do C – drážky hrubé stavby obsahuje 2 šroubové spoje (Obr. 7.1, detail A), které jsou identické, proto budou další výpočty odvozeny pro 1 spoj. Výpočet je vzhledem k výsledkům (viz dále) proveden bez uvažování předepjatého šroubového spoje (tedy poměru tuhostí šroubu a přírub), takže osově provozní síly působí ze 100% na šroub i na příruby. Zkoumaný šroub je M10x25 ISO 4017 – 8.8. Provozní síly (viz kap. 5.6) jsou  $F_x = \pm 2834,5$  N,  $F_y = \pm 531,6$  N a  $F_z = \pm 1273,9$  N.

Tab. 7.1 - Parametry šroubu M10x25 ISO 4017 - 8.8

Parametr	Označení	Hodnota	Rozměr
Velký průměr závitu	$d$	10,000	mm
Střední průměr závitu	$d_2$	9,026	mm
Malý průměr závitu	$d_3$	8,160	mm
Rozteč	$P$	1,500	mm



Obr. 7.1 Zatížení provozními silami

#### Určení utahovacího momentu

Do šroubu je třeba vnést takové předpětí, aby byl zajištěn přenos sil  $F_x$  a  $F_y$  třením při současném působení provozní síly  $F_z$  (na 1 šroubový spoj připadají poloviny těchto sil):

$$F_o = \frac{k_t}{f_t} \sqrt{\left(\frac{F_x}{2}\right)^2 + \left(\frac{F_y}{2}\right)^2} + \frac{F_z}{2} \quad (7.1)$$

$$F_o = \frac{1,3}{0,17} \sqrt{\left(\frac{2834,5}{2}\right)^2 + \left(\frac{531,6}{2}\right)^2} + \frac{1273,9}{2} = 11663,7 \text{ N}$$

Kde  $k_t = 1,3$  je součinitel bezpečnosti proti proklouznutí dle (1) a  $f_t = 0,17$  je součinitel tření pro třecí dvojici materiálů ocel – ocel dle (3).

Další výpočet proveden dle (1). Výpočet úhlu stoupání závitu  $\psi$  a úhlu tření na závitu  $\varphi$ :

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{P_h}{\pi \cdot d_2} = \operatorname{arctg} \frac{1,5}{\pi \cdot 9,026} = 3,0^\circ \quad (7.2)$$

$$\varphi' = \operatorname{arctg} \frac{f_z}{\cos \alpha / 2} = \operatorname{arctg} \frac{0,2}{\cos 30^\circ} = 13,0^\circ \quad (7.3)$$

Kde  $f_z = 0,2$  je součinitel tření na závitu pro mazaný závit dle (1). Výpočet třecího momentu na závitu:

$$M_{tz} = F_o \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi) \cdot \frac{d_2}{2} = 11663,7 \cdot \operatorname{tg}(3,0 + 13,0) \cdot \frac{9,026}{2} \cdot 10^{-3} = 15,09 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (7.4)$$

Výpočet potřebného utahovacího momentu:

$$M_u = M_{tz} + F_o \cdot f_m \cdot \frac{d_s}{2} = 15,09 + 16972,2 \cdot 0,18 \cdot \frac{12,6}{2} \cdot 10^{-3} = 34 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (7.5)$$

Kde  $f_m = 0,18$  je dle (3) součinitel tření pod hlavou šroubu a  $d_s = 12,6 \text{ mm}$  je střední průměr pro působíště třecí síly pod hlavou šroubu M10x25 ISO 4017 – 8.8 dle (3). Vypočtený utahovací moment je ve skutečnosti minimální utahovací moment pro vnesení potřebného předpětí do šroubu.

Utahovací moment šroubu uvažovaný i s tolerancemi zvolen jako  $M_u = 36 \pm 2 \text{ N} \cdot \text{m}$ .

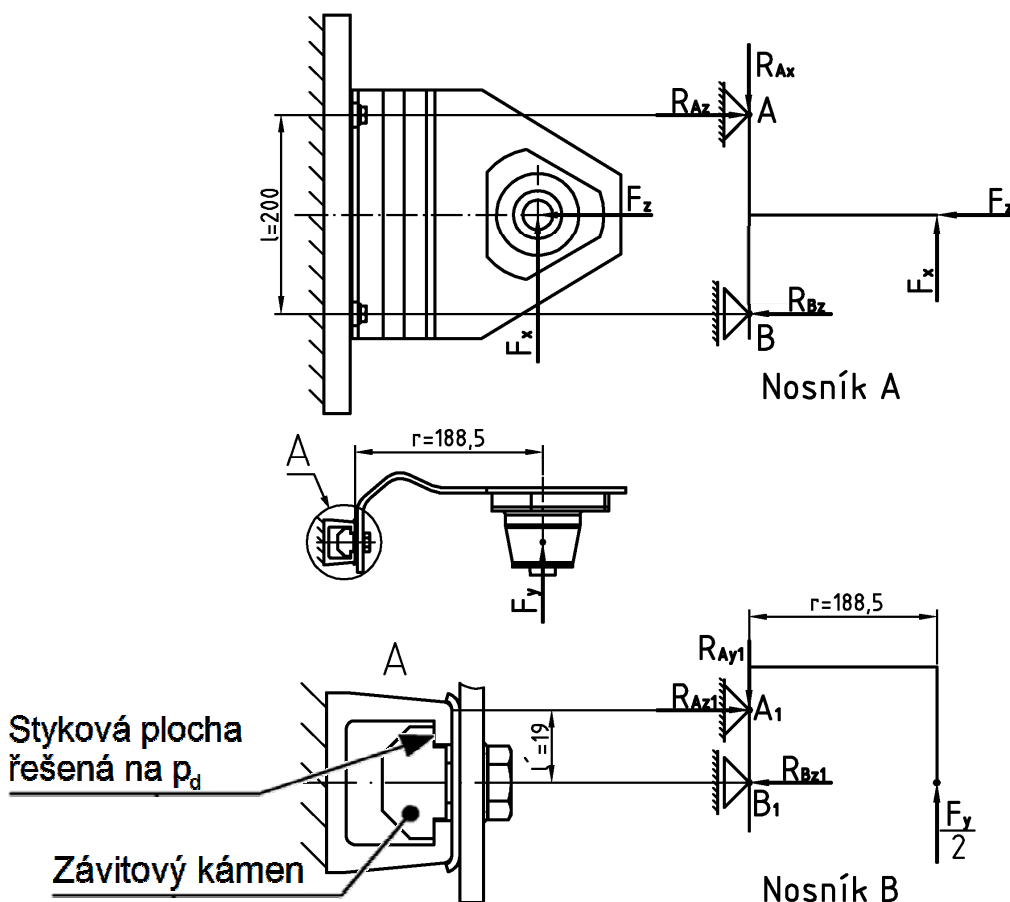
### **Pevnostní kontrola šroubu**

Pro pevnostní kontrolu šroubu je třeba vycházet z maximálního utahovacího momentu  $M_{u,max} = 38 \text{ N} \cdot \text{m}$ . Při použití vzorců (7.4) a (7.5) pak vychází maximální předpětí v ose šroubu  $F_{o,max} = 14650,2 \text{ N}$  a třecí moment na závitu  $M_{tz,max} = 18,96 \text{ N} \cdot \text{m}$ .

Do pevnostní kontroly se kromě těchto sil promítá i momentové působení provozních sil  $F_x$ ,  $F_y$  a osově působící provozní síly  $F_z$ . Dále bude řešeno navýšení síly v ose šroubu v důsledku těchto provozních sil.

Pozn.: Momentové působení sil  $F_x$  a  $F_y$  nebylo při výpočtu utahovacího momentu uvažováno – únosnost dvojice šroubových spojů na tření jako celek toto působení neovlivňuje.

Uchycení lze řešit zjednodušeně ve 2 pohledech jako 2 samostatné nosníky a reakční síly ve šroubech poté sečíst.



Obr. 7.2 Zjednodušení uchycení na nosníky A a B

Z nosníku A je pro pevnostní kontrolu důležitá velikost největší reakce  $R_{Az}$ :

$$R_{Az} = F_x \cdot \frac{r}{l} + \frac{F_z}{2} = 2834,5 \cdot \frac{188,5}{200} + \frac{1273,9}{2} = 3308,5 \text{ N} \quad (7.6)$$

Z nosníku B se vypočítá reakce  $R_{Bz1}$  (na 1 šroubový spoj připadá polovina síly  $F_y$ ):

$$R_{Bz1} = R_{Az1} = + \frac{F_y}{2} \cdot \frac{r}{l'} = \frac{531,6}{2} \cdot \frac{188,5}{19} = 2637,0 \text{ N} \quad (7.7)$$

Na orientaci reakcí  $R_{Az}$  a  $R_{Bz1}$  dále nezáleží, protože provozní síly  $F_x$ ,  $F_y$  a  $F_z$  mohou nabývat kladných i záporných hodnot (viz začátek kap. 7). Maximální osová síla je pak:

$$F_o' = F_{o,max} + R_{Az} + R_{Bz1} = 14650,2 + 3308,5 + 2637,0 = 20595,7 \text{ N} \quad (7.8)$$

Dále bude provedena kontrola šroubu dle (1).

Výpočet napětí v tahu  $\sigma_t$  a krutu  $\tau$ :

$$\sigma_t = \frac{4F_o'}{\pi \cdot d_3^2} = \frac{4 \cdot 20595,7}{\pi \cdot 8,160^2} = 393,8 \text{ MPa} \quad (7.9)$$

$$\tau = \frac{M_{tz}}{W_k} = \frac{16 \cdot M_{tz}}{\pi \cdot d_3^3} = \frac{16 \cdot 18,96 \cdot 1000}{\pi \cdot 8,160^3} = 177,7 \text{ MPa} \quad (7.10)$$

Výpočet statické bezpečnosti dle HMM:

$$k_s = \frac{Re}{\sigma_{red}} = \frac{Re}{\sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau^2}} = \frac{640}{\sqrt{393,8^2 + 3 \cdot 177,7^2}} = 1,3 \quad (7.11)$$

Po konzultaci s vedoucím práce byla statická bezpečnost  $k_s$ , vzhledem k neuvažování předepjatého šroubového spoje a statickému druhu zatížení, vyhodnocena jako dostačující. Ve skutečnosti budou statická bezpečnost  $k_s$  a bezpečnost proti proklouznutí  $k_t$  vlivem neuvažovaného předepjatého šroubového spoje o něco vyšší.

### Kontrola měrného tlaku na hliníkové C – drážce

Kritická je styková plocha mezi C – drážkou a závitovým kamenem v C – drážce (viz Obr. 7.2). Vzhledem k reakci  $R_{Az1}$ , působící pouze na 1 stranu C – drážky (viz také Obr. 7.2), bude kontrola provedena jen pro tuto 1 stranu. Při výpočtu opět nehrají roli orientace provozních sil. Maximální tlaková síla  $F_d$ , připadající na polovinu C – drážky, se vypočte (podobně jako maximální osová síla  $F_o'$  v pevnostní kontrole šroubu) z maximálního předpětí v ose šroubu  $F_{o,max}$  a z reakčních sil  $R_{Az}$  a  $R_{Az1}$  nosníků A a B (viz Obr. 7.2). Je třeba si ovšem uvědomit, že se síly  $F_{o,max}$  a  $R_{Az}$  rozkládají na obě strany C – drážky, ale síla  $R_{Az1}$  působí pouze na 1 stranu této drážky:

$$F_d = \frac{F_{o,max}}{2} + \frac{R_{Az}}{2} + R_{Az1} = \frac{14650,2}{2} + \frac{3308,5}{2} + 2637,0 = 11616,4 \text{ N} \quad (7.12)$$

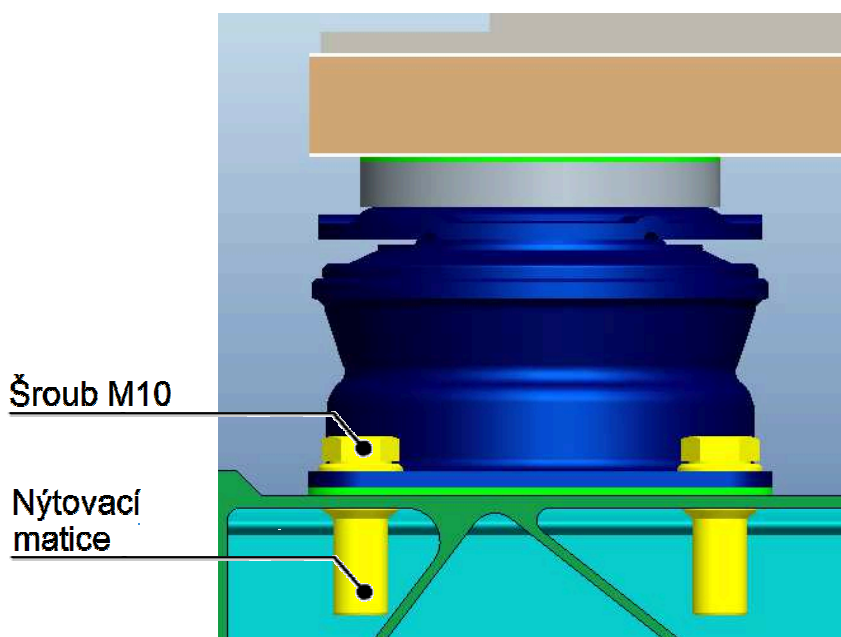
Výpočet měrného tlaku ve spoji:

$$p = \frac{F_d}{S} = \frac{11616,4}{225} = 51,6 \text{ MPa} \quad (7.13)$$

Kde  $S = 225 \text{ mm}^2$  je styková plocha ve spoji na 1 straně C – drážky. Materiál C – drážky je Al 6005 T6 s mezí pevnosti  $R_m = 255 \text{ MPa}$  (4). Dle (11) této hodnotě při připuštění mikroposuvů odpovídá  $p_d = 65 \text{ MPa}$ . Šroubový spoj vyhovuje ve všech ohledech.

## 7.2 Šroubové spojení silentbloku s podlahou hrubé stavby

Toto spojení je realizováno 4 šrouby M10x25 ISO 4017 - 5.6 a nýtovacími maticemi La Clusienne 01A100JCB040Z.



Obr. 7.3 Šroubové spojení silentbloku s podlahou hrubé stavby

Nýtovací matice jsou ocelové s podélnými drážkami, které u měkkých spojovaných materiálů (hrubá stavba vagónu je hliníková) zajistí vysokou odolnost proti pootočení. Tyto matice rovněž obsahují těsnění a mají plné dno, není tedy riziko průsaku vlhkosti skrze tento spoj. Dle (10) je pro tento typ matice a hliníkové příruby maximální dovolený utahovací moment  $M_{u,dov} = 32 \text{ N}\cdot\text{m}$ . Matici je možno po utažení dále zatížit maximální dovolenou osovou provozní silou  $F_{p,dov}'' = 4000 \text{ N}$ .

Dle kap. 5.6 je maximální síla, kterou musí toto spojení se 4 šrouby přenést třením  $F_r = 879,2 \text{ N}$ . Maximální osová provozní síla, která při provozu zvyšuje osově síly ve šroubech, je  $F_p'' = 256,0 \text{ N}$  (také viz kap. 5.6). Vzhledem k těmto nízkým hodnotám zatížení byl pro šrouby M10 dle (10) zvolen doporučený utahovací moment  $M_u = 22 \pm 2 \text{ N}\cdot\text{m}$  (s ohledem na pevnostní třídu šroubu 5.6).

Pevnostní kontrola šroubu M10 nemusí být provedena, protože zvolený utahovací moment  $M_u = 22 \pm 2 \text{ N}\cdot\text{m}$  je doporučený pro danou pevnostní třídu šroubu a současně jsou provozní síly působící na šroub pro pevnostní výpočet zanedbatelně malé. Navržené šroubové spojení tedy vyhovuje.

## 8. Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce bylo navrhnout vhodné uchycení WC buňky pro osoby s tělesným postižením do hrubé stavby železničního vagónu. Po provedení průzkumu používaných řešení bylo zvoleno uchycení v silentblocích. Toto řešení je funkční a v praxi použitelné. Přináší současně několik výhod:

- odpadá použití svarů v uchyceních,
- silentbloky automaticky vyrovnávají úhlové tolerance - toto přináší usnadnění montáže
- silentbloky zajišťují zrovnoměrnění přenosu sil na jednotlivé úchyty buňky – to přináší i rovnoměrnější rozložení napětí po podlaze buňky.

Pro provedení pevnostní a deformační kontroly uchycení WC buňky a její podlahy bylo třeba nahradit sendvičovou podlahu buňky i pružné uchycení vhodným výpočtovým modelem. Nalezení odpovídajícího nahrazení se podařilo a bylo tedy možno provést analýzu zatížení WC buňky v místech jejího uchycení a dále také i pevnostní a deformační kontrolu.

Při návrhu podlahy buňky došlo při použití hliníkového sendviče AluCore k úspoře hmotnosti podlahy o 17 %. Tohoto bylo dosaženo při splnění všech deformačních a pevnostních kritérií. Hlavními přínosy nového uchycení k tomuto výsledku bylo pružnější uložení, dosažení větší styčné plochy mezi podlahou buňky a uchycením a využití uchycení buňky do bočnice hrubé stavby jako aktivního člene.

Při návrhu bylo třeba přihlížet rovněž k tolerancím hrubé stavby vagónu. Navržené řešení je schopno tyto tolerance při montáži vyrovnávat. Současně toto řešení splňuje i všechny parametry zadání, požadavky souvisejících technických norem a firemní předpisy a požadavky Siemens, s.r.o.

## 9. Seznam použité literatury

- (1) KALÁB, K. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části spojovací*. 1. vydání. Ostrava: VŠB – TUO, 2008. ISBN 978-80-248-1290-8.
- (2) KRUTINA, J. *Zopakujme si pružnost a pevnost*. 1. vydání. Praha: Práce, 1963.
- (3) LEINVEBER, J. – VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. 4. vydání. Úvaly: Albra, 2008. ISBN 978-80-7361-051-7.
- (4) DIN EN 755-2 *Aluminium und Aluminiumlegierungen – Stranggepresste Stangen, Rohre und Profile – Teil 2: Mechanische Eigenschaften*. Berlin: DIN Deutsches institut für normung e. V., 1997.
- (5) DIN 25 043 *Reisezug – und triebwagen vermessen beim neubau*. Berlin: DIN Deutsches institut für normung e. V., 1992.
- (6) EN ISO 13920 *Welding. General tolerances for welded constructions. Dimensions for lengths and angles. Shape and position*. Brussels: CEN, 2000.
- (7) EN 12663-1 *Railway applications - Structural requirements of railway vehicle bodies - Part 1: Locomotives and passenger rolling stock (and alternative method for freight wagons)*. Brussels: CEN, 2010.
- (8) *Simrit technical manual*. Simrit, 2007.
- (9) ALUCORE - Aluminium composite panel. *Alubond - Alucore* [online]. 2012 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.alucobond.com/alucore-start.html>
- (10) Clufix. *La Clusienne - Clufix* [online]. 2012 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.clufix.com/gb/clufix-1-47.aspx>
- (11) Zdeněk Folta. *Zdenek Folta - VSB-TU Ostrava* [online]. 2012 [cit. 2012-04-29]. Dovolný měrný tlak. Dostupné z: <http://www.347.vsb.cz/staff/folta/menu.htm/>
- (12) *Metawell* [online]. 2012 [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://www.metawell.de/en/home/>
- (13) *PRO/ENGINEER Wildfire* [počítačový program]. Ver. 5.0, USA: PTC, 2009
- (14) *Výrobní dokumentace Siemens, s.r.o.*

## **10. Seznam příloh**

### **Přílohy součástí textu:**

A 3-D Pohledy na sestavu upevnění WC buňky

### **Samostatné přílohy:**

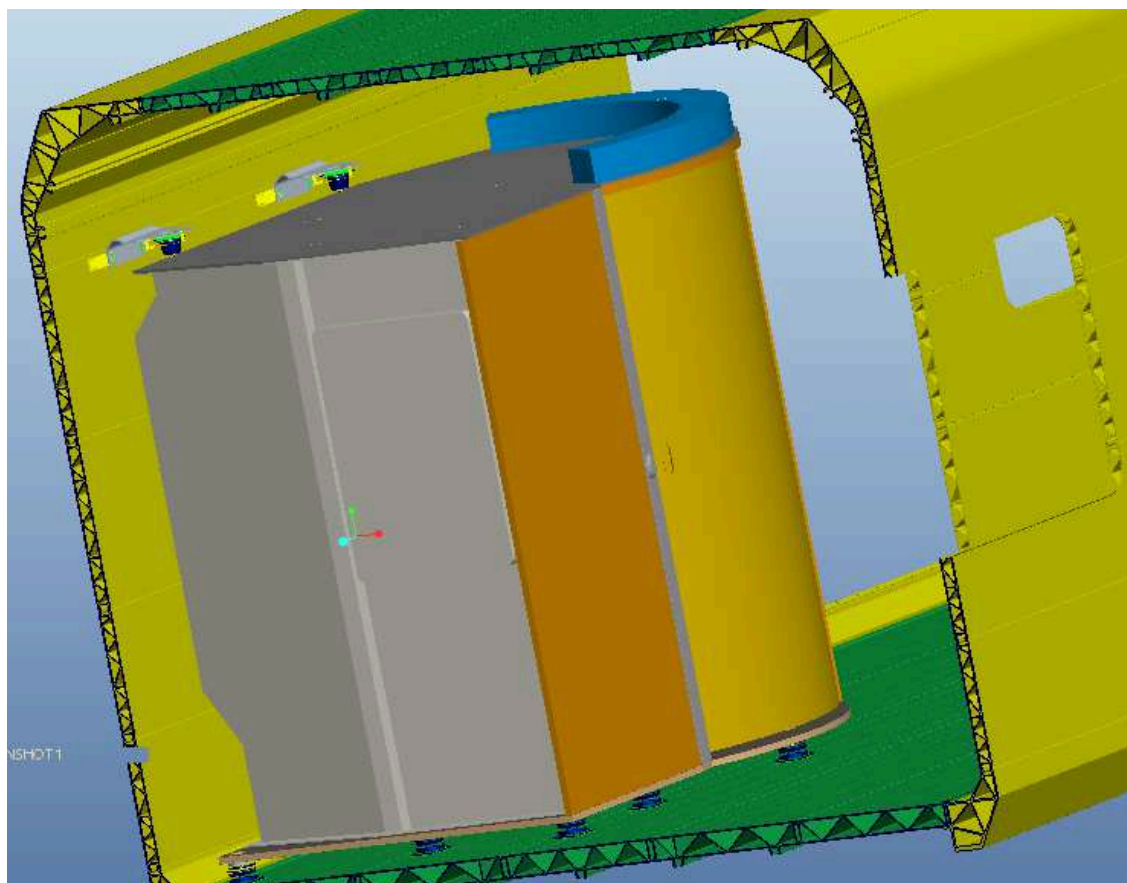
B Upevnění WC buňky - sestavný výkres, WC-1

C Upevnění WC buňky - seznam položek, WC-1.0

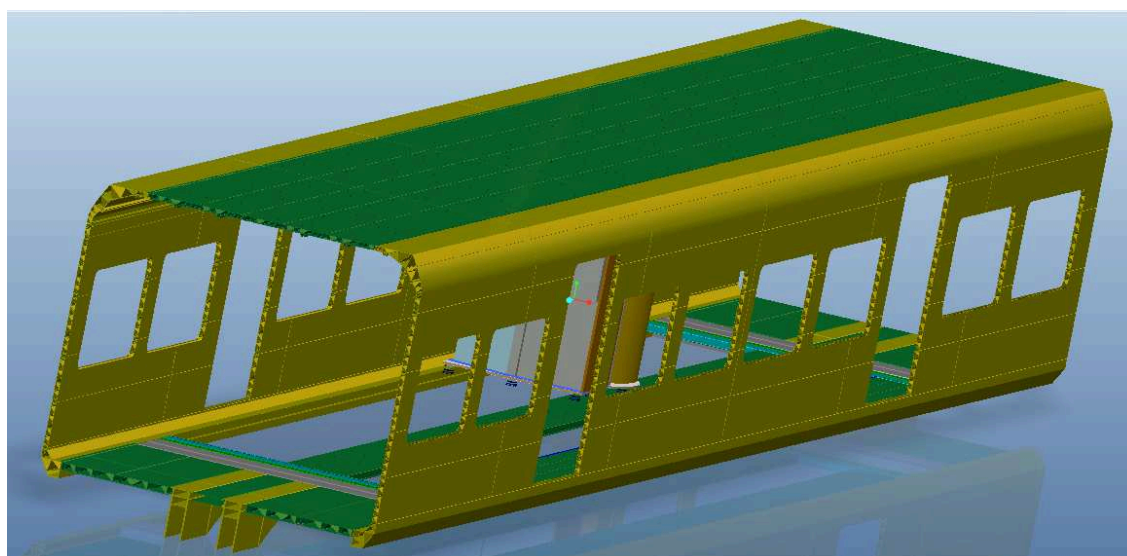
D CD s textem a výkresy diplomové práce



## Příloha A



A1 Pohled na WC buňku v hrubé stavbě vagónu



A2 Pohled na hrubou stavbu vagónu